

Pflaum Verlag München

Programmierbare Modelleisenbahnen

Wolf Dieter Schleifer

Programmierbare Modelleisenbahnen

Baustein-Elektronik
für die Interface-Technik und
neue Spielmöglichkeiten

Mit 110 Abbildungen, 18 Tabellen und Falttafel



Richard Pflaum Verlag KG München

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Schleifer, Wolf Dieter:
Programmierbare Modelleisenbahnen : Baustein-Elektronik für die Interface-Technik und neue Spielmöglichkeiten/Wolf Dieter Schleifer.–
München: Pflaum, 1981
ISBN 3-7905-0339-8

Titelfoto: Frank Schmalfuß, Fotograf, München
Satz: SatzStudio Pfeifer, Germering
Druck: Schwetzinger Verlagsdruckerei, Schwetzingen

Inhalt

Wichtige Hinweise

Die hier beschriebenen Schaltungen und Verfahren sind teilweise zum Patent angemeldet. Nach Patenterteilung ist gewerbliche Verwendung nicht ohne schriftliche Genehmigung des Patentinhabers möglich.
Alle Schaltungen, die in diesem Buch angegeben werden, sind im Versuchsaufbau labormäßig erprobt worden. Sie werden hier erstmals veröffentlicht und sind urheberrechtlich geschützt. Die in Kapitel 3 beschriebene Anlage wurde praktisch aufgebaut und zur einwandfreien Funktion gebracht. Da zum Nachbau ein gewisses Geschick erforderlich ist, sollte der Anwender sich genau an die angegebenen Schaltungen halten und alle Baugruppen vor dem Einbau in die Anlage sorgfältig in der beschriebenen Weise überprüfen. Nur so lassen sich Schäden vermeiden, deren Folgen der Leser selber zu tragen hat.
Alle Platinenentwürfe sind im Spiegelbild auf einer gesonderten Seite zur direkten Reproduktion als Kontaktkopie wiedergegeben. Der Name ELTOY, der auf den Platinen in Spiegelschrift erscheint, ist geschützt.
Für alle, die aktiv an der Weiterentwicklung dieses Modelleisenbahn-Konzeptes mitwirken wollen, befindet sich ein Fragebogen am Schluß des Buches. Bitte füllen Sie diesen aus und senden ihn direkt an den Autor.

Vorwort: Zur Zielsetzung dieses Buches

In diesem Buch wird die Technik der Modelleisenbahnen *mit mehr als einem Fahrgerät* behandelt und ausführlich dargestellt, wie man die elektromechanischen Bestandteile einer Modellbahnanlage mit Hilfe ganz gewöhnlicher elektronischer Großserienbauteile so ansteuert, daß die Steuerung wahlweise von Hand oder von einem Mikrocomputer vorgenommen werden kann. Dies ist nicht nur deshalb von Nutzen, weil der Wunsch besteht, die immer preiswerteren Mikrocomputer zur Steuerung heranzuziehen, sondern auch deshalb, weil mit Hilfe von Logikschaltungen Betriebsfehler, wie die Überfahrt nicht überfahrbarer Trennstellen oder die Einfahrt in abgeschaltete Abstellgleise, automatisch vermieden werden können. Außer dieser Steigerung der Betriebssicherheit können dann bestimmte Fahrablaufprogramme entwickelt werden, die bis hin zum strategischen Modellbahnspiel mit Ermittlung eines Gewinners reichen.
Die hierzu notwendigen Elektronik-Bausteine sind so entwickelt worden, daß bereits ohne Mikrocomputer ein voll programmierbarer Betrieb möglich ist. Dabei geht es im wesentlichen darum, die Fahrtrichtungen der Züge auf dem Schienennetz in ein Elektronik-Netz mit Speichereinrichtungen zu übertragen und logisch so zu verknüpfen, daß der vorgesehene störungsfreie, vorprogrammierbare Ablauf entsteht.
Bei der Gestaltung eines solchen Modellbahn-Netzes wird dabei von den prinzipbedingten Gegebenheiten einer mit Gleichstrom betriebenen Modellbahn mit zwei oder mehreren Fahrgeräten ausgegangen. Bei diesen Anlagen ist ein Überfahren von einem Stromkreis in einen Nachbarstromkreis nur bei gleicher Polarität der Fahrspannung an den Trennstellen möglich, und Wendeschleifen sind ohne besondere Hilfsmittel nicht auszuführen. Diese Probleme werden mit den hier beschriebenen Elektronik-Schaltungen gelöst, wobei stets darauf geachtet wurde, die Logik so auszuführen, daß die Steuerung durch einen Mikrocomputer erweitert werden kann. Außerdem wurde darauf geachtet, daß auch mit Wechselstrom betriebene Anlagen mit Hilfe der hier beschriebenen Bausteine programmierbar gemacht werden können. Nachdem die Mikrocomputer-Technik gegenwärtig sehr stark im Fluß ist, wird in diesem Buch vor allem die Programmierung von Modellbahnanlagen mit den Standard-TTL-IC's behandelt, wobei aus Gründen des leichten Nachbaues nur statische Logik verwendet wird. Die hier beschrie-

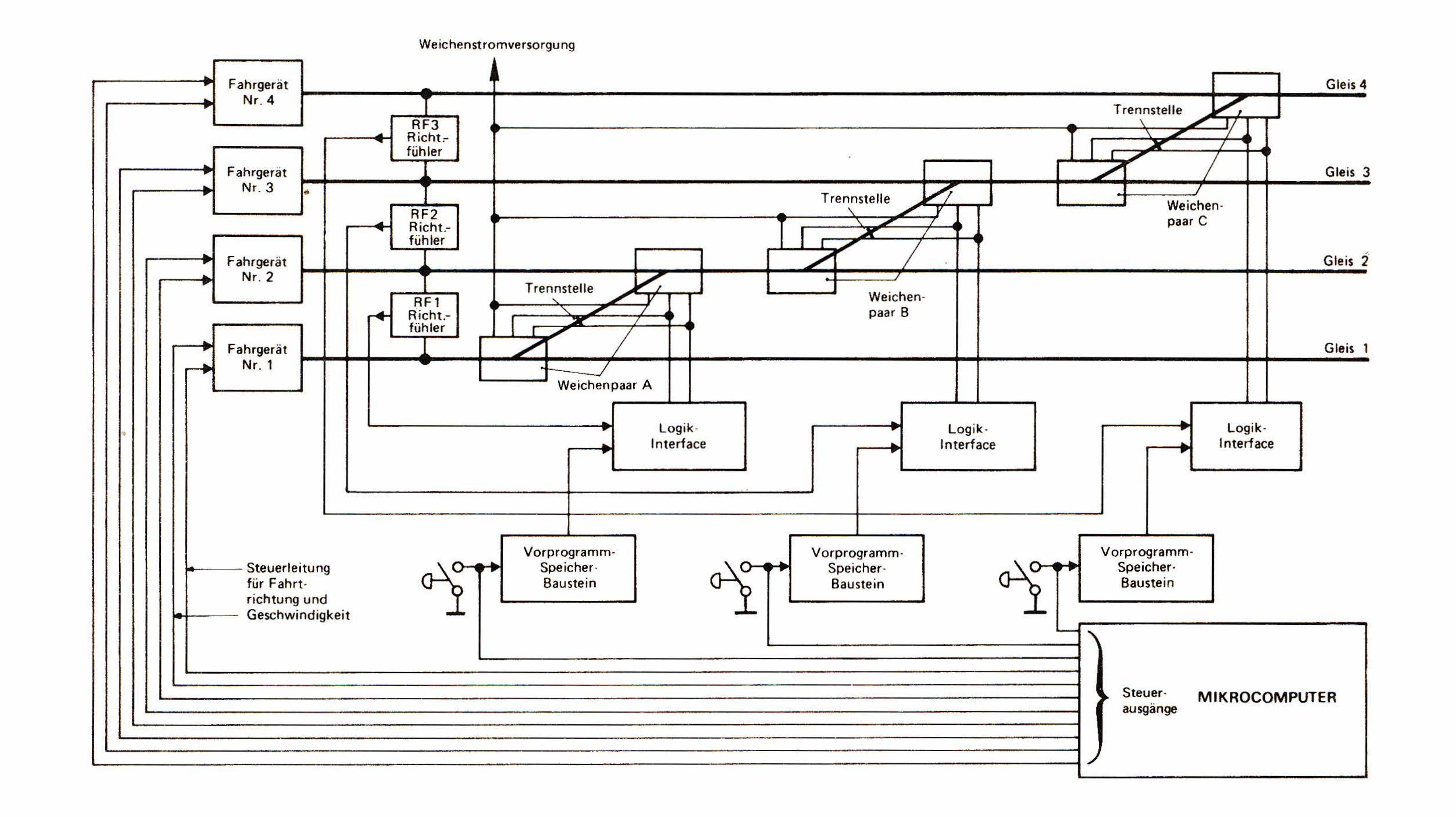
benen sogenannten Hardware-Lösungen liefern bereits den gewünschten Effekt des programmierbaren Betriebes. Da zu diesem Zweck ein Übergang von den elektromechanischen Elementen, wie Weichen und Lok-Motoren, auf die TTL-Pegel-Steuerung gefunden werden mußte, ist so gleichzeitig auch das Interface-Problem gelöst worden, d.h. der spätere Anschluß des Modellbahn-Netzes an einen Mikrocomputer ist kein Problem mehr, da er bei der Schaltungsentwicklung bereits berücksichtigt wurde.
Bei der Entwicklung und Beschreibung des hier dargestellten Modelleisenbahn-Konzeptes wurde besonders darauf geachtet, daß ein schrittweises Vorgehen von der Lösung einfacher Grundprobleme bis hin zur vollständigen programmierbaren Anlage entstand. Dadurch kann der Anwender von der einfachen Weichenumschaltung bis hin zur vollautomatischen Ablaufsteuerung nach und nach in seinem Wissen mitwachsen. Es werden zur Erreichung des Zieles einer voll programmierbaren Modellbahnanlage nur etwa 15 verschiedene Elektronik-Baugruppen benötigt, die leicht nachzubauen und vielseitig zu verwenden sind.
Alle hier angegebenen Schaltungen sind im Labor mehrfach aufgebaut und getestet worden, und die im 3. Kapitel beschriebene Anlage wurde zur vollen Funktion gebracht, so daß ein sicherer Nachbau ohne Schwierigkeiten möglich sein sollte. Es sei jedoch nicht verschwiegen, daß eine solche Modelleisenbahn-Anlage einen erheblichen Aufwand an Ausdauer, Geduld und exaktem Arbeiten erfordert. Der Anwender sollte sich daher genau an die angegebenen Schaltungen halten und alle Baugruppen vor dem Einbau in die Anlage sorgfältig in der beschriebenen Weise überprüfen. Wer gründlich und systematisch vorgeht, wird schnell viel Spaß an seiner programmierbaren Modelleisenbahn-Anlage haben.
In diesem Sinne wünschen Autor und Verlag viel Erfolg und Freude.

München, im Frühjahr 1981

Wolf Dieter Schleifer

1 Warum soll eine Modellbahn programmierbar sein?

Modellbahnanlagen werden in der Regel sehr schnell auf einen so großen Umfang erweitert, daß eine übersichtliche Bedienung meist nur mit Gleisbildstellwerk möglich ist. Ferner werden bei größeren Anlagen praktisch immer mehrere Fahrgeräte eingesetzt, die nur unter bestimmten Bedingungen ein Überfahren der Übergangsstellen in den Nachbarstromkreis erlauben.
Ein anderes Problem sind Schattenbahnhöfe, die einen programmierbaren Einsatz der Züge auf Abruf ermöglichen sollen. Nicht zuletzt jedoch sind es aber die Fahrgeräte und Weichenverbindungen, die – programmierbar gemacht – einen sehr vielseitigen Betrieb ermöglichen und besondere Spielprogramme zu fahren gestatten, die bis hin zum strategischen Fahrmanöver mit Ermittlung eines Gewinners zwischen zwei Spielpartnern reichen können.
Natürlich ist für so vielseitig programmierbare Anlagen der Einsatz eines Mikrocomputers möglich. Dabei stellt sich bereits in der ersten Planungsphase einer Modellbahn-Anlage die Frage nach der Größe des Mikrocomputers und nach dem Anschluß der meist elektromagnetisch zu steuernden Bestandteile der Anlage, wie Weichen und Lokomotiven.
In der Computertechnik sind zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze zur Lösung eines komplexen EDV-Problems üblich. Die eine Lösungsmethode verwendet einen großen Zentralcomputer mit vielen Verästelungen zu denjenigen Stellen, wo Zugriff auf die Computerleistung verlangt wird. Dies hat für unser Problem den Nachteil, daß die ganze Anlage nicht funktioniert, wenn der Computer ausfällt. Es ist daher wesentlich besser, die Computer-Intelligenz über die gesamte Anlage hinweg etwas zu verteilen.
Die zweite Lösungsmethode bedeutet die Verwendung von intelligenten Untergruppen, die einen Teil der „Denkarbeit" bereits vor Ort erledigen, nämlich da, wo sie unmittelbar anfällt. Die Verarbeitung der vorsortierten Entscheidungen übernimmt ein zentraler Computer, der dann auch für die Koordination der Außenstellen verantwortlich ist. Dieser Computer kann dann wesentlich kleiner und einfacher aufgebaut sein, da er nur noch einen Teil der Arbeit, nämlich die Verarbeitung bereits vorbereiteter Daten, auszuführen hat. Ein solches System ist in *Bild 1.1* skizziert, wobei bereits auf unser Modellbahnproblem Bezug genommen wurde.
Die Vorteile dieser Vorgehensweise liegen auf der Hand. Nicht nur, daß sich dieses Konzept in der EDV als verteiltes Datennetzwerk (distributed net-


Weichenstromversorgung
Fahrgerät Nr. 4
Fahrgerät Nr. 3
Fahrgerät Nr. 2
Fahrgerät Nr. 1
RF3 Richt.-fühler
RF2 Richt.-fühler
RF1 Richt.-fühler
Trennstelle
Weichenpaar A
Trennstelle
Weichen-paar B
Trennstelle
Weichen-paar C
Gleis 4
Gleis 3
Gleis 2
Gleis 1
Logik-Interface
Logik-Interface
Logik-Interface
Vorprogramm-Speicher-Baustein
Vorprogramm-Speicher-Baustein
Vorprogramm-Speicher-Baustein
Steuerleitung für Fahrtrichtung und Geschwindigkeit
Steuer-ausgänge
MIKROCOMPUTER

work) bereits durchgesetzt hat, sondern auch für das Problem einer programmierbaren Modellbahn ist dies die ideale Lösung. Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Die Steuerleitungen vom Computer zu den intelligenten Unterbaugruppen reduzieren sich auf wesentlich weniger Drähte, da ein Teil der Denkarbeit bereits „vor Ort" erledigt wird.
2. Die Funktion der Anlage bleibt voll erhalten, wenn der Mikrocomputer ausfällt.
   Dadurch ergibt sich die Möglichkeit eines schrittweisen Aufbaues, und der Anwender kann in seinem Kenntnisstand mit der Anlage kontinuierlich mitwachsen.
3. Die Programme werden wesentlich einfacher, da der Hauptcomputer mit einfachen Entscheidungen nicht belastet wird, weil diese in den intelligenten Teilgruppen erledigt werden.
4. Die Funktionsprüfung und Reparatur der Anlage wird wesentlich vereinfacht, da Fehler schnell geortet und behoben werden können.

Die Realisierung einer programmierbaren Modellbahnanlage wird daher in diesem Buch nach diesem Prinzip behandelt. Dabei sind die intelligenten Unterbaugruppen sehr einfach gehalten: sie enthalten in der Regel nur ein paar Logik-Gatter und Speicher-Flip-Flops, um bestimmte einfache Vorgänge zu bewirken. Als zentraler Computer kann dann ein gebräuchlicher Ein-Platinen-Mikrocomputer verwendet werden, dessen 16 Bit-Interface-Baustein zur Steuerung sämtlicher Vorgänge der Modellbahnanlage ausreicht. Bevor jedoch die im einzelnen benötigten Elektronik-Bausteine und deren Steuerung besprochen wird, soll hier noch etwas Grundsätzliches zum Konzept gesagt werden.
Die in Bild 1.1 gezeigte Anlage zeigt vier Fahrstrecken (Gleise 1 . . . 4), die über gerade Weichenverbindungen und Trennstellen aneinander angeschlossen sind. Ein Überfahren einer Trennstelle ist nur dann möglich, wenn auf zwei benachbarten Fahrstrecken die gleiche Fahrtrichtung gefahren wird. Während bei Wechselstrombahnen zwei auf benachbarten Gleisen fahrende Lokomotiven im Falle des Gegeneinanderfahrens über die Weichenverbindung irgendwann einmal zusammenstoßen müssen, kann bei Gleichstrombahnen eine einzige Lok die Trennstelle an der Weichenverbindung überhaupt nicht passieren, da sie auf der Trennstelle immer hin- und herzuckt, wenn die eine Fahrstrecke eine andere Fahrtrichtungspolarität hat als die benachbarte. Aus dieser grundsätzlichen Gegebenheit von Modellbahnen ist das in diesem Buch beschriebene Konzept entstanden.

← Bild 1.1: Programmierbare Modellbahnanlage, schematisch

Es beruht auf einer als Richtungsfühler RF bezeichneten Elektronik, die ein Logiksignal abgibt, das Aussage über die relative Fahrbewegung der Lokomotiven auf den Gleisen gibt, zwischen denen diese Richtungsfühler-Elektronik angeschlossen ist.
Alle Weichen werden über ein intelligentes Weichen-Interface angesteuert. Die Intelligenz besteht dabei aus einer einfachen UND-Verknüpfung zwischen Vorprogrammsignal und Richtungsfühlersignal, was in der Praxis bedeutet, daß nur diejenigen Weichenverbindungen durchgeschaltet werden, die zu überfahrbaren Trennstellen gehören.

Das *2. Kapitel* gibt Elektronik-Baugruppen für die Beschaltung aller Weichenverbindungen an, die bei der Konstruktion von Modellbahnen vorkommen können, also nicht nur gerade Verbindungen, sondern auch Kreuzungsverbindungen und Wendeschleifen. Ferner werden Bahnhofselektroniken vorgestellt, mit denen verschiedene Bahnhofs-Anordnungen aufgebaut werden können.
Bei allen Elektronik-Bausteinen war das modulare Konzept ein wesentliches Entwicklungsziel. So wird z.B. bei den Fahrgeräten und Stromversorgungen dasselbe Schaltungskonzept für die Leistungsstufe verwendet. Ferner lassen sich alle Speicher-, Interface- und Relaisbausteine beliebig kombinieren, um jedem Anwendungsfall gerecht zu werden. Dadurch werden Betriebszustände vermieden, die zur Einfahrt in abgeschaltete Abstellgleise führen können oder das Zusammenstoßen von Lokomotiven bewirken würden.
Um jedoch die Perfektion vollständig zu machen, wird noch eine Lichtschrankentechnik beschrieben, die ohne Gleisumbau nachträglich am Gleis angebaut werden kann und sogar die Fahrtrichtung eines Zuges erkennt, wenn dies gewünscht wird.

Das *3. Kapitel* zeigt am Beispiel einer programmierbaren Miniaturbahnanlage, wie man bereits mit den im 2. Kapitel beschriebenen Elektronik-Bausteinen zu völlig neuen Spielmöglichkeiten kommen kann, die bis zum strategischen Spiel mit Ermittlung eines Gewinners reichen. Dabei ist das verwendete Konzept der rein statischen Logik besonders leicht zu realisieren, da es unkritisch in der Verdrahtung ist und eine besonders leichte Fehlersuche ermöglicht. Der eigentliche Anschluß an den Mikrocomputer kann durch einen Peripheren Interface Adapter (PIA) erfolgen, dessen Ausgangsleitungen direkt parallel zu den Tastkontakten nach Masse angeschlossen werden können, wie Bild 1.1 bereits zeigt.

Das *4. Kapitel* bringt eine Übersicht über die verwendeten Bauteile.
Da nur Standard-Großserien-Bauteile verwendet werden, dürfte deren Beschaffung kein Problem sein. Dieses Kapitel wird jedoch besonders dem An-

fänger, der bisher nur wenig mit Elektronik zu tun hatte, den Einstieg in die digitale TTL-IC-Technik erleichtern.
Der Anhang am Schluß des Buches gibt Hinweise auf die Platinen-Herstellung und deren Verwendungsmöglichkeit für andere Aufgaben.

2 Elektronik-Bausteine zur Programmierung von Modellbahnen

Hier sind zunächst einmal die Fahrgeräte programmierbar zu machen. Dabei sind zwei Funktionen, nämlich Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung, von Interesse.
Es wird hier zwischen programmierbarem Steuerbaustein und nachgeschaltetem Leistungsbaustein unterschieden, weil derselbe Leistungsbaustein auch zur Erzeugung der verschiedenen Versorgungsspannungen herangezogen wird. Die für diese Zwecke optimalen Bausteine sind in den Abschnitten 2.1 bis 2.3 zu finden. Die „Intelligenz" der Fahrgeräte wird in einem Logikbaustein erzeugt, der die Fahrtrichtungs-Information speichert und damit zur Steuerung der Signale an Trennstellen oder zur Vorprogrammierung von Weichenverbindungen dient. Dieser Baustein wird im Abschnitt 2.4 behandelt.
Abschnitt 2.5 behandelt ein universelles Weichen-Interface, das für alle gebräuchlichen Weichen mit Doppelspulen-Antrieb geeignet ist und dessen Intelligenz darin besteht, daß eine Weiche auf Abzweigen geschaltet wird, wenn zwei logische Eingangssignale gleichzeitig anliegen (UND-Verknüpfung). Außerdem wird die nur kurze Betätigung des Schaltstromes mit automatischer Abschaltung gleich mit erledigt, und das Interface hat ferner einen Ausgang mit der Bedeutung „Weiche gesetzt".
Ein weiteres Problem ist die Abtastung der Zugbewegungen auf dem Schienennetz, die mit verschiedenen Formen von Lichtschranken am besten bewirkt wird. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit einer problemlosen Wendeschleifentechnik notwendig und wird in Abschnitt 2.6 behandelt. Dabei ist es besonders die Zweileiter-Modellbahn, der mit intelligenter Elektronik zu einem perfekten Wendeschleifen-System verholfen wird.
Den Abschluß dieses Kapitels über einzelne Elektronik-Bausteine bildet eine programmierbare Bahnhofselektronik, die in Abschnitt 2.7 behandelt wird; Abschnitt 2.8 beschreibt zwei elektronische Relaisausführungen, wie sie für den Modellbahnbau mit Steuerung über TTL-IC's an verschiedenen Stellen benötigt werden. Abschnitt 2.9 bringt dann noch eine Übersicht über die Eigenschaften und Anwendungen der bisher beschriebenen Bausteine.

2.1 Ein neuer Hybrid-Leistungs-Baustein für vielseitige Anwendungen

Auf der Suche nach einer Schaltung, die die Anforderungen bipolarer Verstärkertechnik genauso gut erfüllt wie die Erzeugung stabilisierter Spannungen mit kleinem Innenwiderstand und mittleren Leistungen wurde eine Schaltung entwickelt, die folgende wichtige Eigenschaften besitzt:

a) Kurzschlußfester Ausgang: von einem bestimmten, über einen Widerstandswert vorgegebenen Ausgangsstrom an wird dieser Strom konstant gehalten, wobei der Widerstand nicht in den Innenwiderstand der Schaltung eingeht.
b) Spannungen, die höher sind als die Sollausgangsspannung und am Ausgang kurzzeitig oder dauernd anliegen können, wie dies z.B. beim Schalten induktiver Lasten auftreten kann, werden automatisch von der Stabilisierungsschaltung abgetrennt und können diese nicht zerstören.

Eine solche Schaltung ist in *Bild 2.1* in verschiedenen Entwicklungsstufen dargestellt. Es wird dabei von der üblichen Darlington-Schaltung ausgegangen (Bild 2.1a), die durch Verwendung von komplementären Transistoren zum Regelkreis ausgebaut wird (Bild 2.1b). Diese in der Literatur

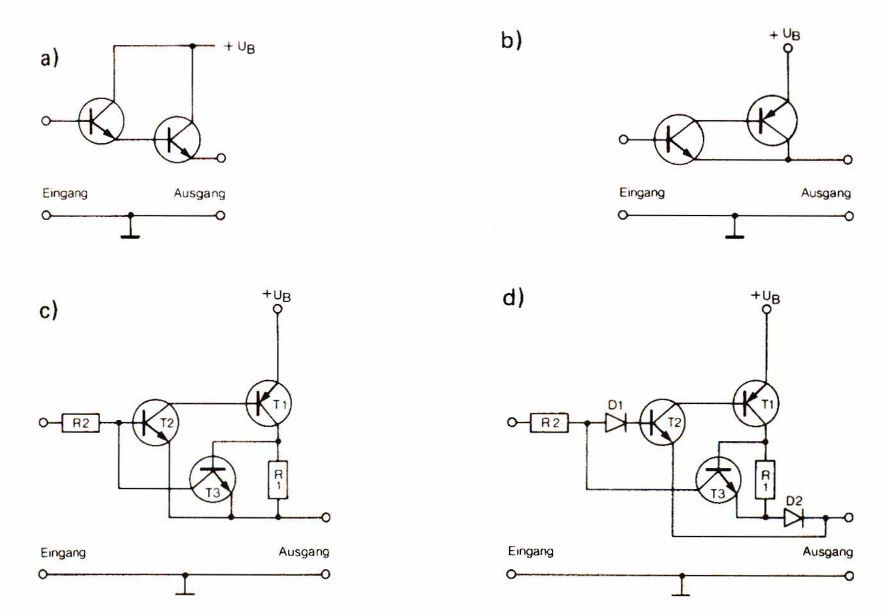


Bild 2.1: Entwicklung einer kurzschlußfesten und überspannungssicheren Leistungstransistorstufe

als Pseudo-Darlington bezeichnete Schaltung kann nun durch Einfügen eines Widerstandes R1 und eines dritten Transistors T3 kurzschlußfest gemacht werden (Bild 2.1c). Wenn am Widerstand R1 so viel Spannung abfällt, wie nötig ist, um T3 leitend zu machen, wird T2 in seiner Leitfähigkeit reduziert, da die Emitter-Kolleletor-Spannung von T3 eine Reduzierung der Emitter-Basisspannung von T2 bewirkt. Der Widerstand R2 bewirkt dabei eine Strombegrenzung, so daß der Basisstrom des Transistors T2 vom Kollektorstrom des Transistors T3 übernommen wird und sich ein bestimmter, nur durch die Größe von R1 definierter Maximalstrom stabilisiert.

Diese Kurzschlußsicherung hat in der Praxis den Vorteil, daß die Größe von R1 nicht in den erzielbaren Innenwiderstand der Schaltung eingeht und somit ein sehr niedriger Innenwiderstand in der Größenordnung von 0,2 Ω erreicht wird.

Die Schaltung erfährt in Bild 2.1d noch eine weitere Verbesserung durch die beiden Dioden D1 und D2, die den Aufbau unempfindlich gegenüber rückschlagenden Spannungen von außen machen, wie sie z.B. bei der Abschaltung von Induktivitäten auftreten. Diese Dioden haben praktisch keinen Einfluß auf den Innenwiderstand, sie verhindern vielmehr das Durchschlagen der beiden Transistoren T1 und T2, wenn die am Ausgang anliegende Spannung größer ist als die am Eingang.

Bild 2.2 zeigt dieselbe Schaltung, jedoch ergänzt durch eine komplementäre Schaltung für negative Ausgangsspannungen. Zusätzlich sind außerdem die Dioden D2, D'2 eingefügt, die die Schaltung vor ausgangsseitigen Überspannungen schützen, die größer sind als die Eingangsspannung E. Die Baugruppen sind mit PVM und NVM bezeichnet und haben neben den Anschlüssen S und A je zwei zusätzliche Ausgänge K1/K'1, die für Strommessungen oder zum Anschluß einer Überlastungsanzeige dienen. Eine solche Überlastungsanzeige kann nach *Bild 2.3* ausgeführt werden; es zeigt die Moduln mit Überlastungsanzeige und je 2 Anschlüssen L1/L'1, an die LED's außerhalb des Modulgehäuses angeschlossen werden können. Diese lassen sich z.B. in eine Frontplatte einbauen, während die eigentliche Elektronik im Innern eines Modul-Gehäuses angeordnet ist. In Bild 2.3 sind außerdem die Gleichrichter-Halbbrücken gleich mit eingebaut, was für alle Netzteilanwendungen von Vorteil ist (vgl. Bild 2.17). Für Verstärkeranwendungen kann die zweite Diode fehlen. Bei den Schaltungen Bild 2.2 und Bild 2.3 fällt noch der Widerstand R3 auf. Er ist dazu da, den Basisstrom des Transistors T3 auf den maximal zulässigen Wert zu begrenzen,

wenn plötzlich ein Kurzschluß am Ausgang A auftritt. Es kann dann nämlich der Stromanstieg an R1 einen so großen Spannungssprung erzeugen, daß die Emitter-Basis-Strecke von T3 zerstört würde, wenn R3 fehlt.

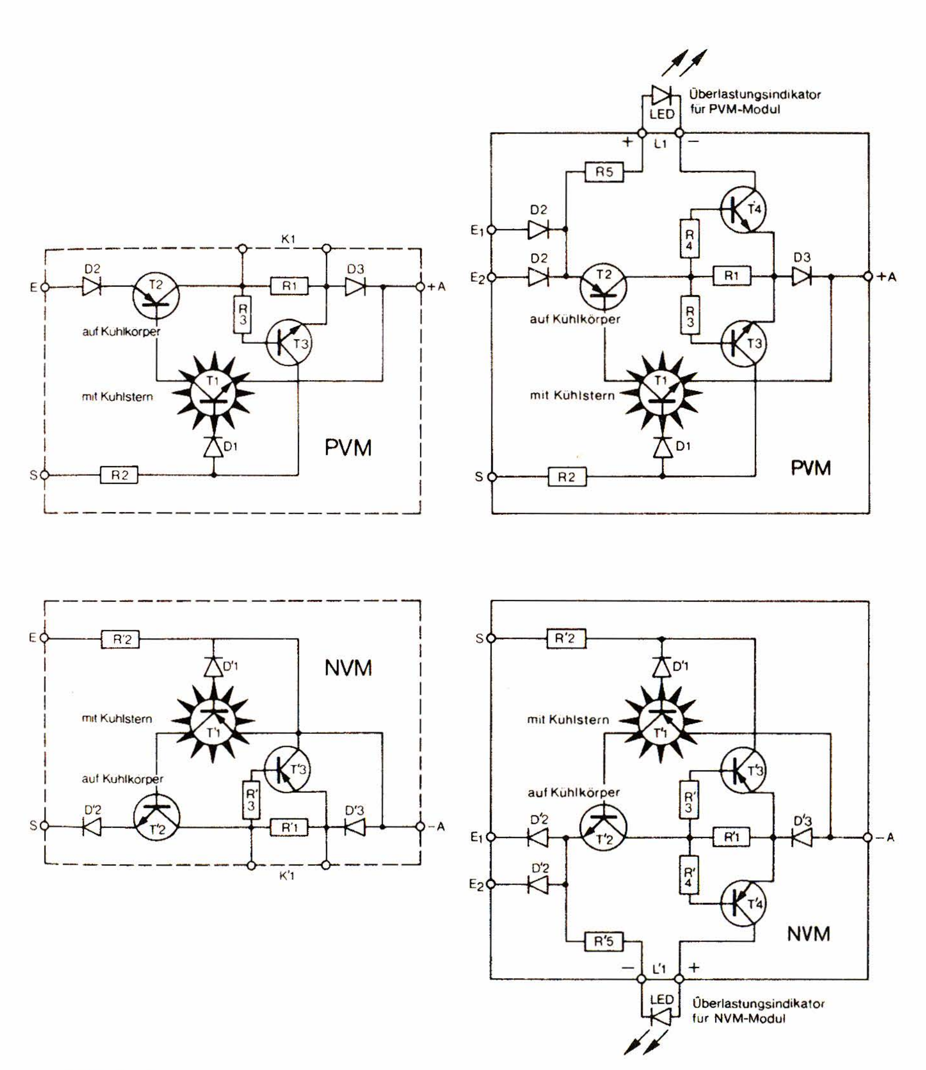


Bild 2.2: Schaltung der komplementären Leistungstransistor-Moduln (PVM/NVM)

Bild 2.3: Schaltung der komplementären Leistungstransistor-Moduln (PVM/NVM) mit Überlastungs-Indikator

Die *Tabelle 1* gibt die Bauteile und Spezifikationen für 1A, 2A- und 3A-Module an. Die 1A- und 2A-Module können mit der in *Bilder 2.4* gezeigten Platine aufgebaut werden, die so ausgeführt ist, daß sie leicht in ein Standard-Modul-Gehäuse eingegossen werden kann. In dieses Gehäuse sind für die Leistungstransistoren Aussparungen einzusägen, damit die Leistungstransistoren an einen gemeinsamen Kühlkörper angeschraubt werden können. Die praktische Ausführung dieses Aufbaues zeigt *Bild 2.5.*

Der 3A-Modul wird vor allem für Stromversorgungseinheiten gebraucht und daher meist als Einzelbaustein und nicht als komplementäres Paar ausgeführt.

Die folgenden Abschnitte zeigen den praktischen Einsatz der PVM/NVM-Moduln zur Lösung aller Stromversorgungsprobleme bei Modellbahnen.

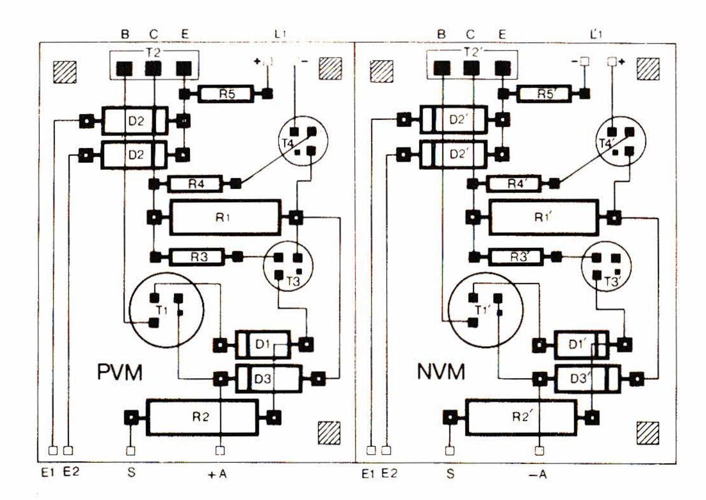


Bild 2.4.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.3

Bauteile/Spezifikationen	1A-Modul	2A-Modul	3A-Modul
T1: Kleinleistungs-Transistor NPN	BC140-16	BC141-16	BC141-16
T'_1: dto, PNP	BC160-16	BC161-16	BC161-16
T2: Leistungstransistor PNP	BD242	BD244 C	BD244 C
T'_2: dto NPN	BD241	BD243 C	BD243 C

Fortsetzung auf Seite 23

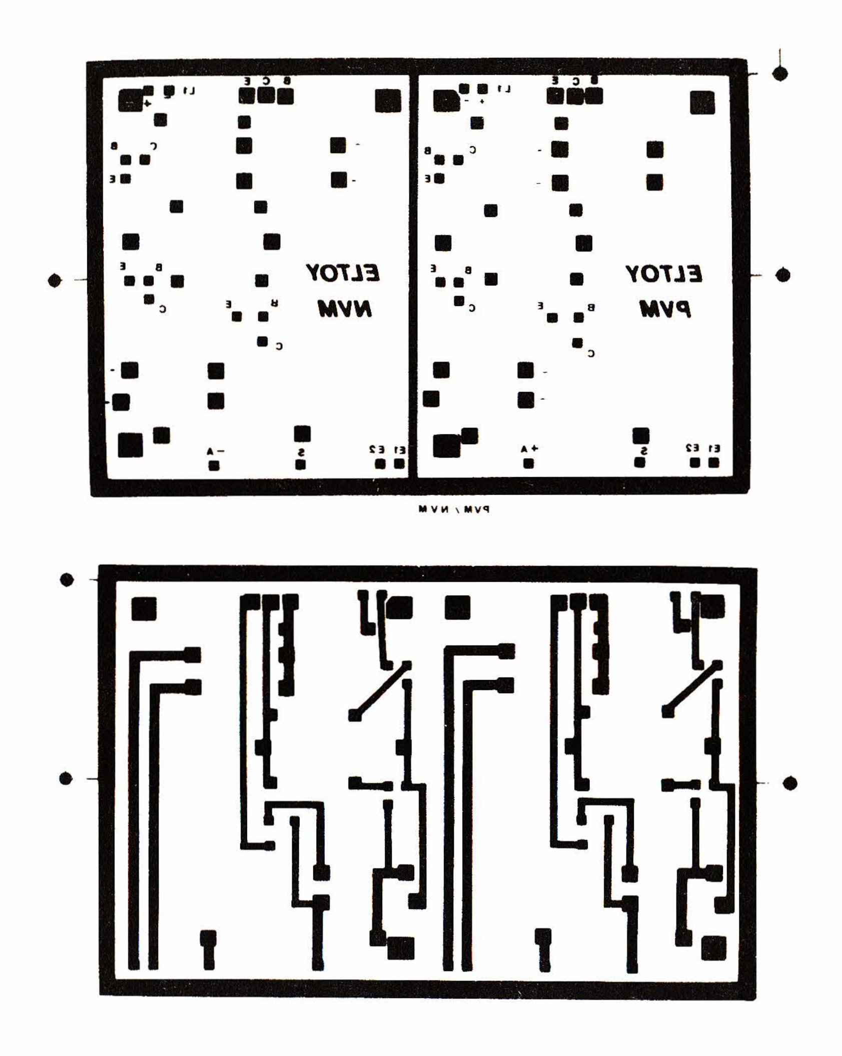


Bild 2.4.2: Platinenentwurf der Schaltung nach Bild 2.3: a) Bauteileseite, b) Unterseite

Bauteile/Spezifikationen	1A-Modul	2A-Modul	3A-Modul
Fortsetzung von Seite 20			
T3: Kleinsignal-Transistor NPN	BC108 C	BC108 C	BC108 C
T'3: dto PNP	BC178 C	BC178 C	BC178 C
T4: wie T3	BC108 C	BC108 C	BC108 C
T'4: wie T3	BC178 C	BC178 C	BC178 C
R1, R'1: Drahtwiderstand	0,56Ω/0,5W	0,27Ω/2W	2x0,39Ω parall. je 2W
R2, R'2: Schichtwiderstand	1,8kΩ/0,3W	560Ω/1W	470Ω/1W
R3, R'3: Schichtwiderstand	1kΩ/0,3W	1kΩ/0,3W	1kΩ/0,3W
R4, R'4: Schichtwiderstand	1kΩ/0,3W	1kΩ/0,3W	1kΩ/0,3W
R5, R'5: Schichtwiderstand	1kΩ/0,5W	1kΩ/0,5W	1kΩ/0,5W
D1, D'1: Si-Kleinleistungs-Diode	1N4148	1N4001	1N4001
D2, D3: Si-Leistungs-Diode	1N4001	1N5401	1N5401
D'2, D'3: dto	1N4001	1N5401	1N5401
LED	Universal	Universal	Universal
Max. Eingangsspg. U_{Emax} bei ausgangsseitigem Kurzschluß	42 V	62 V	62 V
Max. mögliche Ausg.-Spg. bei U_{Emax} am Eingang	40 V	60 V	60 V
Typischer Innenwiderstand des Ausgangs A, A'	0,2 Ohm	0,2 Ohm	0,2 Ohm
empfohlener Kühlkörper für T2, T2' für die in 2.2 angegebenen Anwendungen	4,0°C/W	3,0°C/W	2,0°C/W

Tab. 1: Bauteile und Spezifikationen PVM/NVM, Bild 2.3, 2.4 und 2.5

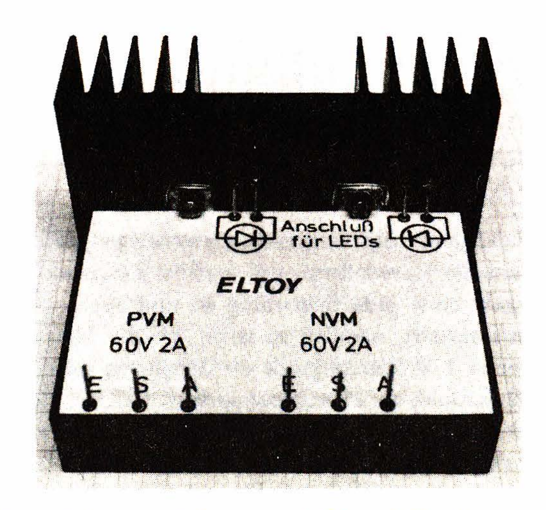


Bild 2.5: Ausführungsbeispiel der Schaltung nach Bild 2.3 (Foto)

2.2 Fahrgeräte-Schaltungen für Hand- und programmierbaren Betrieb

In den folgenden Abschnitten wird zunächst ein Überblick über die verschiedenen Fahrgeräte-Schaltungen gegeben, die mit dem Leistungstransistor-Modul aus Abschnitt 2.1 möglich sind. Dabei wird dieser Modul mit PVM/NVM bezeichnet und als Kästchen mit den 3 Eingängen E, S, A angegeben. Eine Überlastungsanzeige ist der Einfachheit halber weggelassen, kann jedoch stets wie in Bild 2.3 hinzugefügt werden. In Abschnitt 2.2.4 werden dann die Zusatzschaltungen beschrieben, die nötig sind, um die Fahrtregler über einen Mikrocomputer programmierbar zu machen.

2.2.1 Regeltrafo für Wechselstrom-(AC-)Bahnen

Bild 2.6 zeigt die Schaltung eines Regeltrafos, der am Ausgang sinusförmige Spannungen abgibt. Durch den Momentkontakt-Schalter K ist ein Überspannungsstoß zur Richtungsumkehr möglich. Bei dem Spannungsteiler R1/R2/P1 beachte man, daß am Punkt X eine Spannung stehen soll, die um etwa 1 V größer ist als die maximal mögliche Ausgangsspannung; am Punkt Y liegt die Spannung an, die zum Umschaltstoß benötigt wird und Punkt Z führt die Eingangsspannung zum Leistungsmodul, die nur etwa 3 V größer sein muß als die maximal gewünschte Ausgangsspannung. Für eine Märklin-HO-Bahn ergeben sich folgende Werte:

Spannung X: 17 V_{eff}
Spannung Y: 26 V_{eff}
Spannung Z: 29 V_{eff}
R1 = 1,8kΩ/0,2W
R2 = 5,6kΩ/0,2W
P1 = 10kΩ/0,2W

Bei der Ausgangs-Kurvenform soll nicht verschwiegen werden, daß um die Nullstellen herum die Kurvenform, wie in Bild 2.6 gezeigt, flach verläuft, was für die Praxis ohne jede Bedeutung ist und auch nur in einem sehr schmalen Bereich auftritt, nämlich so lange, bis die Steuerspannung an S den Wert von etwa 1 V übersteigt, da die Schaltung aus Gründen der Einfachheit keine Nullpunkt-Verschiebespannung enthält.
Bild 2.7 zeigt eine vereinfachte Schaltung für Gleich- und Wechselstrombahnen, die durch den Brückengleichrichter mit nur einem einzigen Leistungsmodul auskommt und außerdem bei Abtrennen von je zwei Gleichrichter-Dioden zwischen Halbwellen- und Vollwellenbetrieb umschaltbar ist. Da-

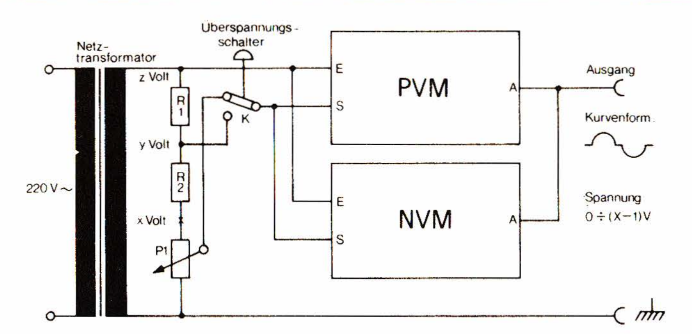


Bild 2.6: Elektronischer Regeltrafo für Wechselspannungsbahnen mit dem Modul nach Bild 2.3

durch wird eine besonders feine Steuerung der Bahn im Rangierbetrieb erreicht.
Was die Bauteile anbetrifft, so kann jeder der PVM-Moduln verwendet werden. Je nach gewünschtem Strombedarf kann der Gleichrichter D1 . . . D4 entsprechend dimensioniert werden: bei 1A genügen 4 x 1 N4001, bei 2A oder 3A müssen 4 x 1N5401 verwendet werden. Die Summe aus R1 und R2 ergibt sich aus der maximal gewünschten Ausgangsspannung; für einen Märklin-Trafo-Ersatz ergeben sich dieselben Werte wie in Bild 2.6, wobei auch die Schaltung zur Richtungsumkehrsteuerung voll übernommen werden kann.

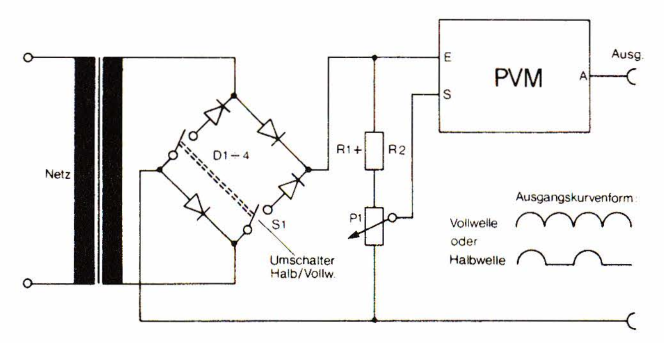


Bild 2.7: Schaltung für ein Fahrgerät für Gleich- und Wechselstrom-Bahnen mit nur einem Leistungsmodul

2.2.2 Fahrgerät für Gleichstrombahnen mit kontinuierlichem Übergang von Rechts- auf Linksfahrt

Bild 2.8 zeigt die Schaltung. Es wird hier ein Trafo mit Mittelanzapfung verwendet, so daß an den beiden Gleichrichter-Ausgängen +a und −a je A Volt positive oder negative Vollwellen-Gleichspannung stehen. Hat der Trafo U1 = U2 = 21 V (Spitzenwerte, entsprechend rund 2 x 15 V Effektivwerten), so kann man an ±a je 20 V erwarten. Sollen +y und −x je 16 V betragen, so sind R1 = R2 = 1,2 kΩ und P1 = 10kΩ zu wählen. Die Spannung am Ausgang ist dann kontinuierlich zwischen −15 . . . +15 V einstellbar. Beim Nachmessen der Spannungen mit einem Drehspul-Meßwerk sind Fehlmessungen unvermeidlich, da die Ausgangskurvenform keine reine Gleichspannung ist. Die Messung ergibt daher nur Anhaltswerte.

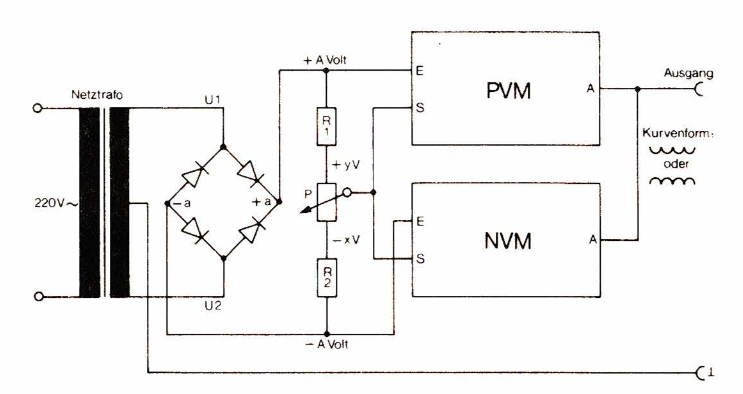


Bild 2.8: Fahrgerät für Gleichstrombahnen mit kontinuierlichem Übergang von Rechts- auf Linksfahrt

2.2.3 Halbwellen-Fahrgerät mit kontinuierlichem Übergang auf Vollwellenbetrieb

Bild 2.9 zeigt eine Schaltung, die in sehr einfacher Weise einen kontinuierlichen Übergang von Halbwellen- auf Vollwellenbetrieb ermöglicht. Die Schaltung ist für Gleich- und Wechselstrombahnen gleich gut geeignet. Bild 2.9 enthält dabei die Möglichkeit der Richtungsumkehr durch Überspannungsstoß, wie sie bei Wechselstrombahnen üblich ist. Ein Hauptvorteil der Schaltung ist dabei, daß beliebig viele Fahrtregler an einen einzigen Trafo angeschlossen werden können, was für Modellbahnen mit mehreren

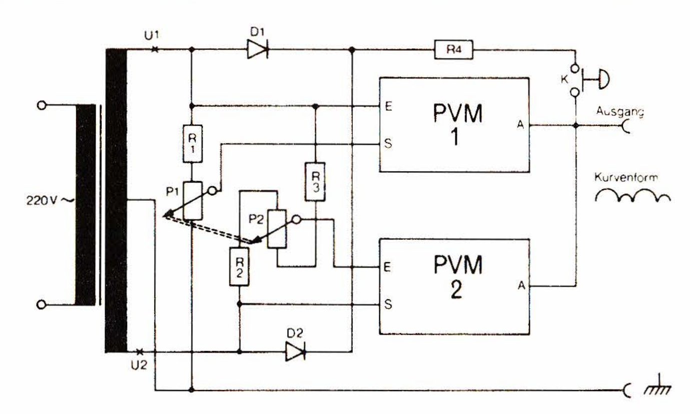


Bild 2.9: Fahrgerät für Gleich- und Wechselstrombahnen mit kontinuierlichem Übergang von Halb- auf Vollwellenbetrieb

Stromkreisen von besonderer Bedeutung ist. Dies gilt jedoch bei dieser Schaltung nur für Wechselstrom-Bahnen, wie später noch erklärt wird. Zur Funktion der Schaltung sei hier ein Überblick gegeben, der aus Platzgründen so kurz wie möglich gehalten wird. Die Spannungen U1 und U2 sind stets gegenphasig, das heißt, wenn U1 positiv gegen Masse ist, ist U2 negativ und umgekehrt. Da an P1 die Spannung nach Masse abgegriffen wird, entsteht eine kontinuierlich wachsende Spannung. Dagegen liegt P2 zwischen U1 und U2, so daß die Spannung bis zur Mitte kleiner wird und bei Mittelstellung von P2 gleich Null ist. Darüber hinaus wächst sie wieder, jedoch mit umgekehrter Phasenlage. Da die PVM-Bausteine nur positive Halbwellen verstärken können, überträgt PVM Nr. 1 stets die positive Halbwelle entsprechend der an P1 abgegriffenen Spannung. PVM Nr. 2 addiert ab Mittelstellung von P2 einen entsprechenden Teil der zweiten Halbwelle dazu, die kontinuierlich bis zum Maximalwert anwächst. Wichtig ist der richtige Verdrahtungssinn von P1 und P2: wenn P1 am oberen Anschlag liegt und den maximal vorgesehenen Teil von U1 erhält, muß P2 den maximal vorgesehenen Teil von U2 erhalten. Die beiden Dioden D1 und D2 sind als Vollwellengleichrichter geschaltet und erlauben bei Betätigen des Momentkontaktes K den zur Richtungsumkehr bei Wechselstrombahnen benötigten Überspannungsstoß, wobei R4 den Strom begrenzt. Bei Gleichstrombahnen können sie entfallen, die Fahrtrichtungsänderung muß hier vielmehr durch einen Polwendeschalter bewirkt werden. Dann entfällt jedoch der Vorteil mehrerer Fahrtregler, die aus dem gleichen Trafo gespeist werden können.

Um diesen Vorteil auch für Gleichstrombahnen zu erreichen, wird die Schaltung nach *Bild 2.10* ausgeführt. Die negative Fahrspannung wird durch eine zweite Modulgruppe NVM erzeugt, und die Fahrtrichtungsumkehr kann durch einen einfachen Umschalter bewirkt werden.
Die Schaltungen Bild 2.9 und Bild 2.10 funktionieren in der Praxis ausgezeichnet: bis zur Mittelstellung des Doppelpotentiometers P1/P2 wird nur mit Halbwellen gefahren, was einen sehr realistischen Rangierbetrieb ermöglicht. Darüber hinaus wächst die zweite Halbwelle an, bis sie beim Endanschlag des Potentiometers genauso groß ist wie die erste Halbwelle.

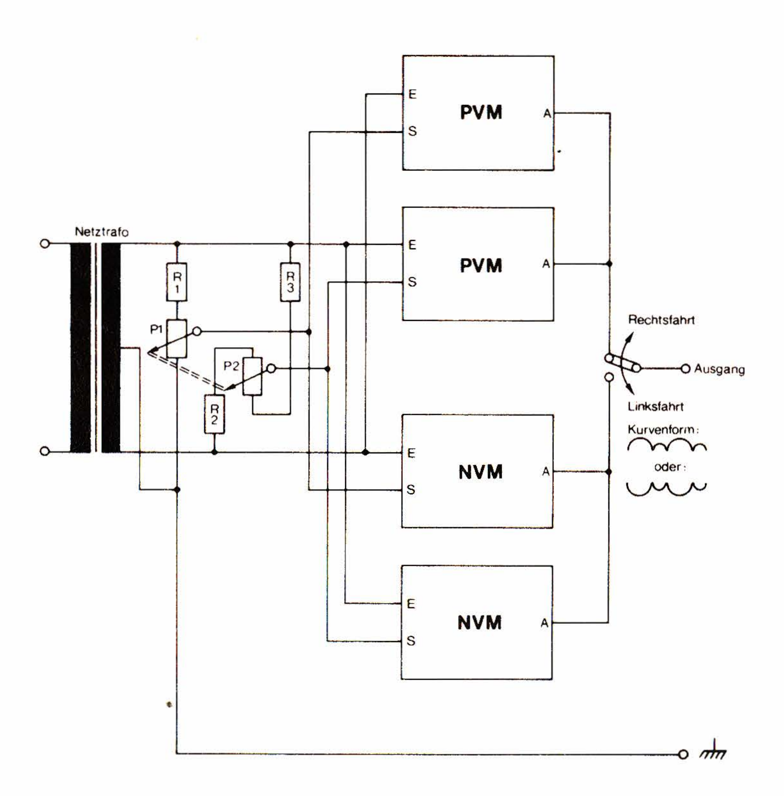


Bild 2.10: Fahrgerät für Gleichstrombahnen entsprechend Bild 2.9 mit Anschlußmöglichkeit mehrerer Reglerteile an einen Trafo

Die nachfolgende *Tabelle 2* enthält die Bauteileangaben für die Bilder 2.9 und 2.10, wobei die Schaltung für den Betrieb einer gebräuchlichen Wechselstrom-HO-Bahn zugeschnitten wurde.

R1 =	10kΩ/0,2W,	R2 = 5kΩ/0,2W,	R3 = 5kΩ/0,2W
P1, P2 =	2 x 10kΩ 0,2W,	R4 = 10Ω/2W	
PVM:	Dimensionierung aus Tabelle 1, jedoch nur die 60V-Type verwendbar.		
Trafo:	Sek. 2 x 30 V_{eff} Strom je nach Leistungsbedarf		
D1, D2:	1N 4001		

Maximale Ausgangsspannung: ca. 15 V_{eff}, 1A oder 2A je nach PVM.
Umschalt-Spannungsstoß: ca 26 V_{eff}/350 mA

Tab. 2: Bauteile und Spezifikationen Halb-Vollwellen-Regler mit kontinuierlichem Übergang, Bild 2.9

Mit diesen bisher erläuterten Schaltungen soll das Gebiet der handgesteuerten Modellbahn-Fahrgeräte abgeschlossen sein. Es sind natürlich weitere Varianten denkbar, die hier jedoch aus Platzgründen nicht weiter behandelt werden sollen.

2.2.4 Programmierbares Fahrgerät mit Umschaltung auf Handbetrieb für Gleich- und Wechselstrom-Modell-Bahnen

Programmierbare Fahrgeräte kann man nach zwei verschiedenen Arten bauen:

1) Fahrgeräte als programmierbare Stromversorgung, indem das Bit-Muster eines Computer-Ausgangsbausteines mit Hilfe eines Digital-Analog-Wandlers umgesetzt wird in ein analoges Signal, d.h. in eine entsprechend der Bit-Wertigkeit wachsende oder fallende Spannung.
2) Fahrgeräte mit Impulsen variabler Breite, bei denen stets die volle Ausgangsspannung anliegt und die Zeitdauer des Anliegens variiert wird. Diese sogenannten Puls-Breite-modulierten Fahrgeräte haben den Vorteil, weniger Kontaktprobleme zu haben, weil die anliegende Spannung immer groß genug ist, den Kontaktwiderstand zwischen Lok und Schiene zu überwinden.

Das hier beschriebene Fahrgerät für mikrocomputergesteuerte Modellbahnen wird daher nach der zweiten Methode arbeiten. Diese Methode erlaubt sehr gleichmäßiges, ruckfreies Anfahren und Hochbeschleunigen bis zur maximalen Geschwindigkeit.

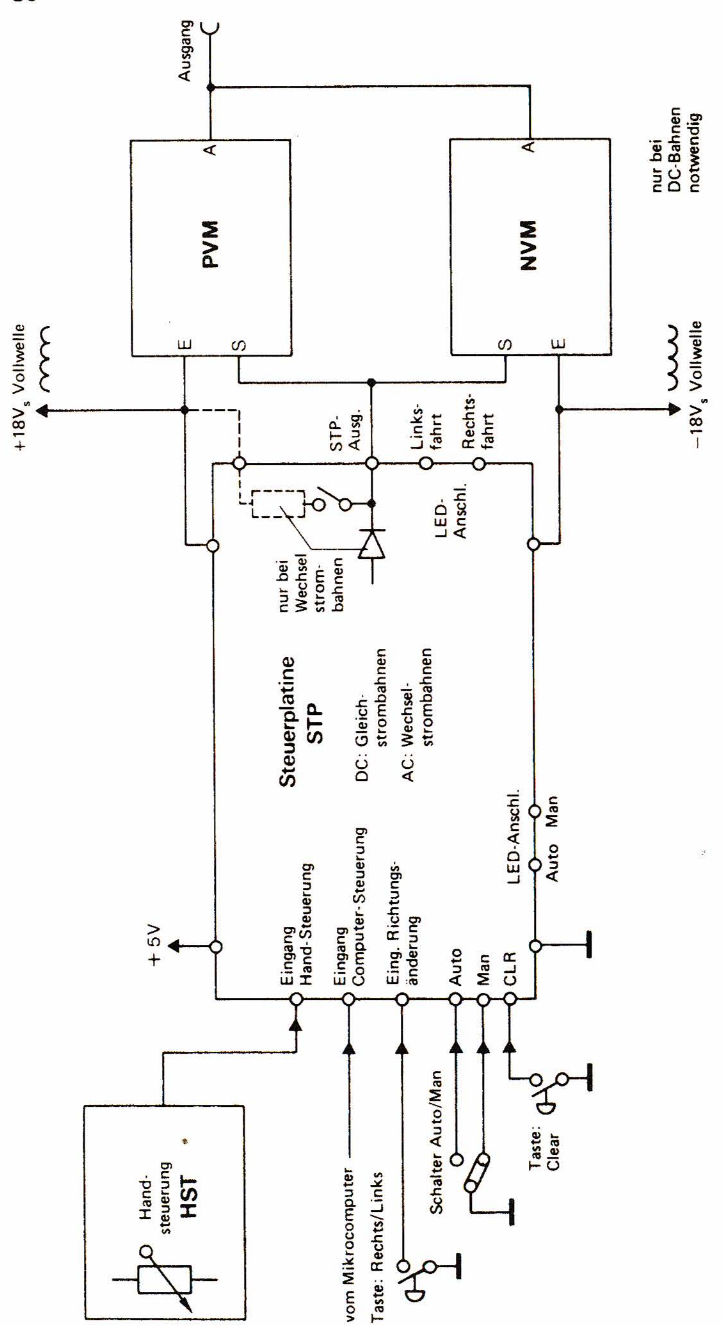


Bild 2.11: Blockschaltung eines programmierbaren Fahrgerätes

Wie *Bild 2.11* zeigt, besteht dieses Fahrgerät aus 3 Bausteinen:

a) dem Steuerbaustein mit Umschaltrelais für Handbetrieb und Computersteuerung sowie dem Umschaltrelais für die Fahrtrichtung, vorgesehen sowohl für Gleichstrom-(DC-) wie Wechselstrom-(AC-)Bahnen, bezeichnet mit STP
b) dem Fahrtregler für Handbetrieb HST
c) dem Ausgangs-Leistungsverstärker, der natürlich wieder mit den PVM/NVM-Bausteinen bestückt ist.

Für Wechselstrom-Bahnen kann derselbe Aufbau mit den gleichen Bausteinen verwendet werden. Zur Richtungsumkehr ist lediglich die gestrichelte Anordnung am Ausgang der STP hinzuzufügen und NVM wegzulassen. Die höheren Spannungen, die zum Betrieb der Loks und vor allem zur Erzeugung des Richtungsumschaltimpulses nötig sind, erzwingen jedoch wesentlich höhere Betriebsspannungen und demzufolge zum Teil andere Bauteile im STP-Baustein. Im folgenden soll zunächst auf den STP-Baustein für Gleichstrom-Bahnen eingegangen werden. Er enthält analoge und digitale IC's, die die Verstärkung und Informationsspeicherung bewirken.
Bild 2.12 zeigt die vereinfachte Schaltung des analogen Teiles. Der Operationsverstärker OV2 ist so geschaltet, daß mit dem Umschalter S entweder positive oder negative Ausgangsamplituden erzeugt werden können. Es wird R1 = R2 = R3 gewählt. Liegt S an R3, so ist die Verstärkung von OV2 in diesem Falle des Inverterbetriebes V = –1, und positive Eingangsamplituden werden als negative Ausgangsamplituden am Ausgang A abgegeben. Liegt S an P2, so ist die Verstärkung von OV2 in diesem Fall des Nicht-Inverter-

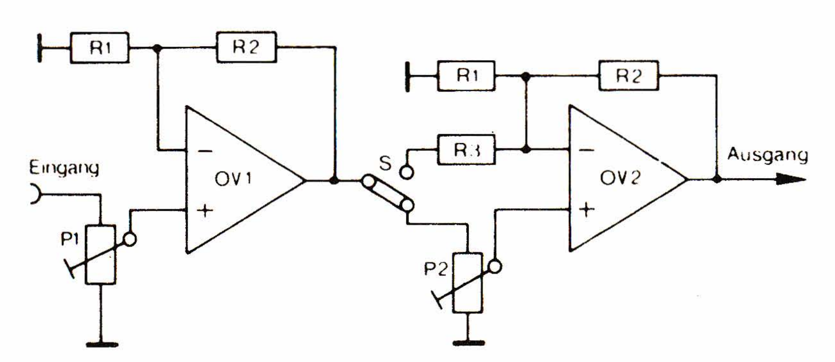
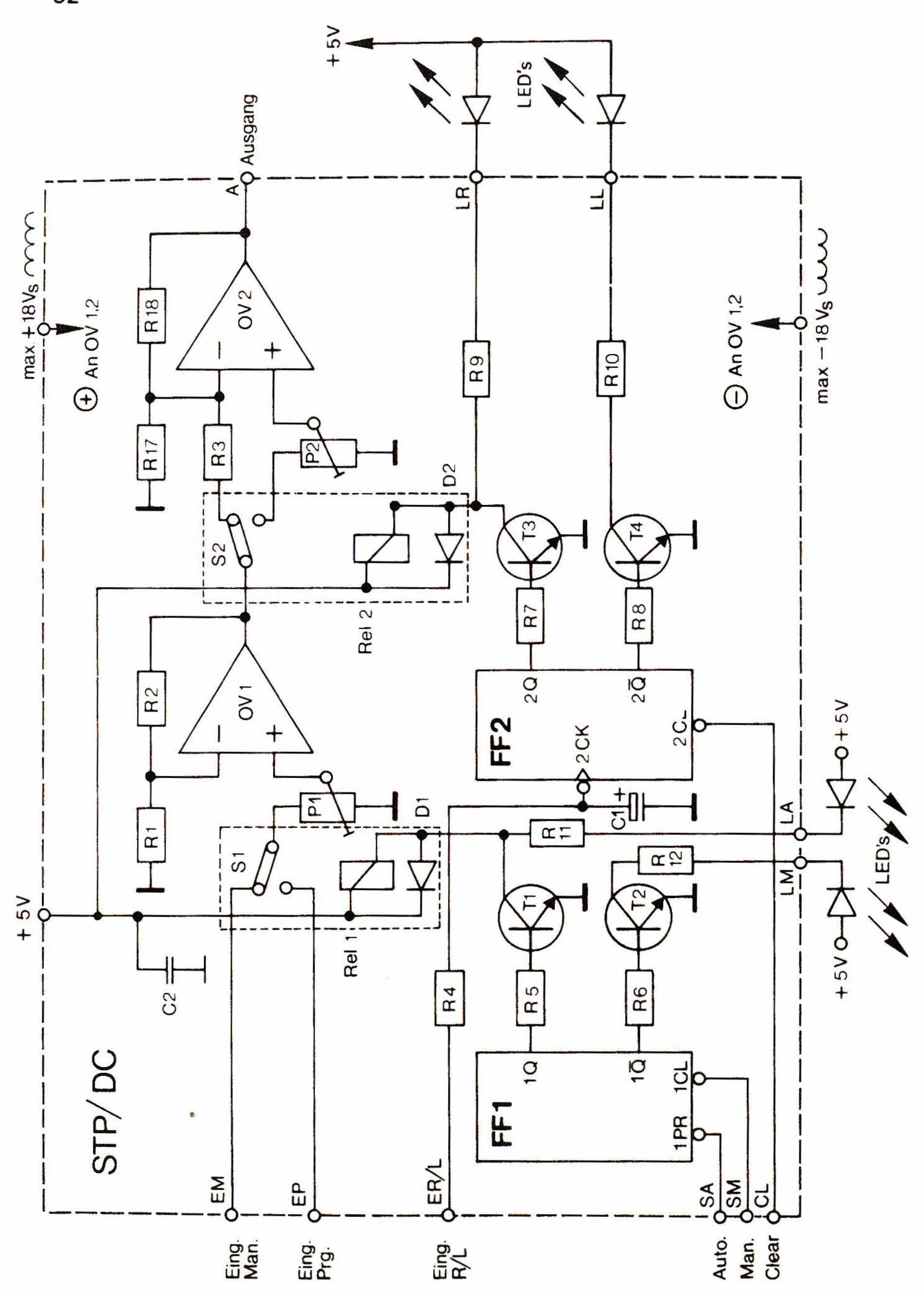


Bild 2.12: Analoger Steuerteil für Gleichstrom-Modellbahnen


STP/DC
+5V
max +18Vs
An OV 1,2
max −18Vs
An OV 1,2
Ausgang
A
LR
LL
LED's
LA
LM
LED's
+5V
+5V
+5V
OV 1
OV 2
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R17
R18
P1
P2
S1
S2
D1
D2
Rel 1
Rel 2
C1
C2
T1
T2
T3
T4
FF1
1Q
1Q̄
1CL
1PR
FF2
2Q
2Q̄
2CK
2CL
EM
EP
ER/L
SA
SM
CL
Eing. Man.
Eing. Prg.
Eing. R/L
Auto.
Man.
Clear

Betriebes V = 2, und positive Eingangsamplituden werden als positive Ausgangsamplituden am Ausgang A abgegeben. P2 dient dann zur Einstellung einer beidseitig gleich großen Amplitude. Die Schaltung arbeitet nur dann in der beschriebenen Weise, wenn S eingangsseitig mit kleinem Innenwiderstand angesteuert wird. Deshalb ist der Operationsverstärker OV1 notwendig, der im wesentlichen als Impedanzwandler mit geringer Vorverstärkung (V = 2) geschaltet ist. P1 dient dann zum Einstellen der gewünschten maximalen Ausgangsamplitude.

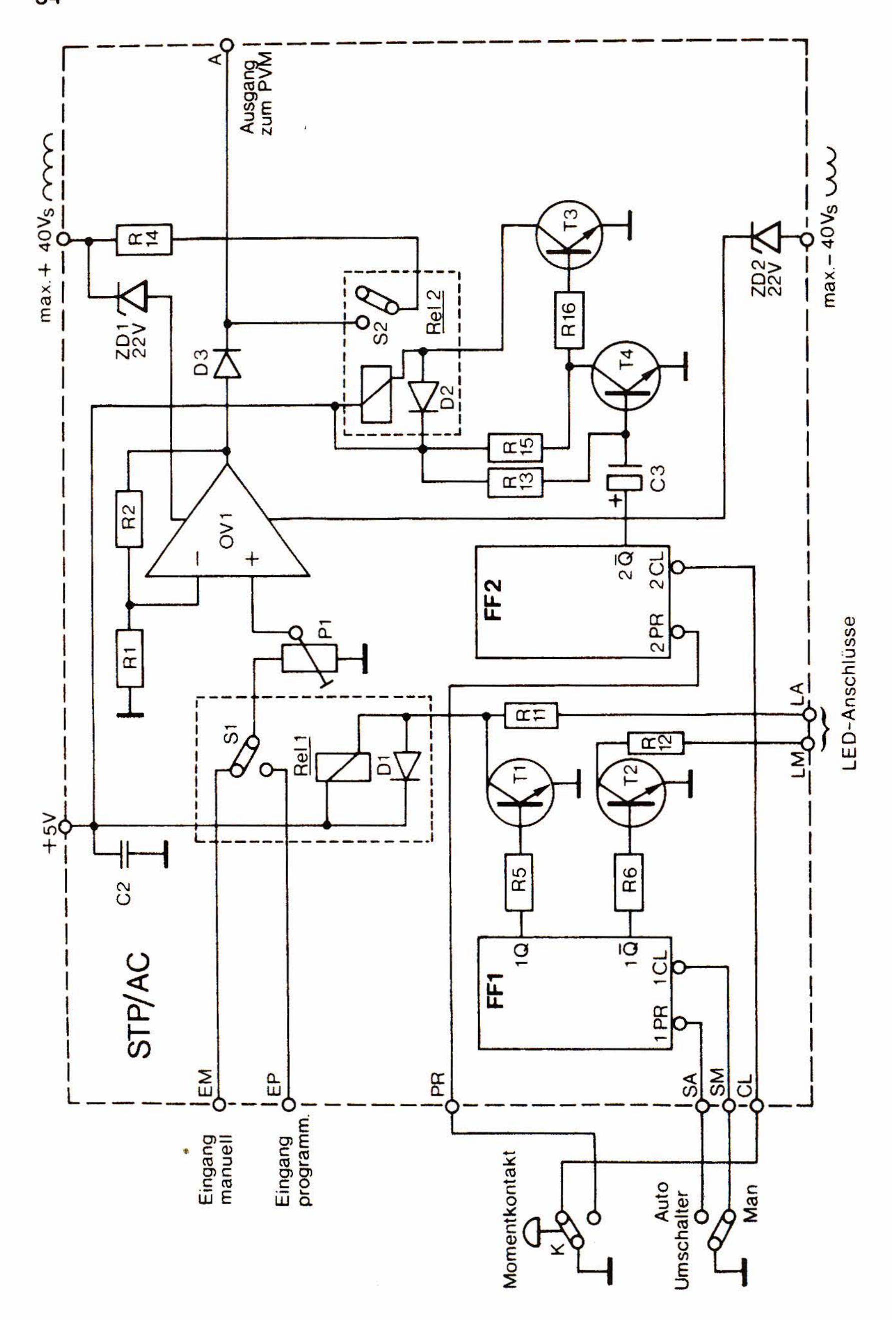
Bild 2.13a zeigt die Gesamtschaltung des Steuerbausteins für Gleichstrombahnen. Wir erkennen die beiden Operationsverstärker OV1 und OV2 und finden den Schalter S2 zur Richtungsumkehr, der als Relais ausgeführt ist. Eingangsseitig ist OV1 ebenfalls an ein Umschaltrelais angeschlossen, mit dem von Handbetrieb auf Computersteuerung umgeschaltet wird. Die beiden Trimmpotentiometer P1 und P2 dienen zur jeweiligen Einstellung der maximalen Ausgangsamplitude, wobei wie erwähnt zuerst P2 und dann P1 einzustellen ist.

Die Relais Rel1 und Rel2 werden in üblicher Weise über Treibertransistoren von den Flip-Flops FF1 und FF2 angesteuert. Die hier verwendeten FFs werden durch Kontaktschlüsse nach Masse geschaltet, wobei PR = Preset das FF immer setzt, CL = Clear das FF immer löscht und CK = Clock das FF wechselt, wenn PR und CL nicht an Masse liegen. Diese Prioritäten-Festlegung ist in der Praxis von großem Vorteil, wie wir später noch sehen werden.

Tabelle 3 enthält alle Bauteile-Angaben für die Steuerplatine STP nach Schaltung Bild 2.13a, b. *Bild 2.14.2* zeigt den Platinen-Entwurf, und *Bild 2.15* gibt die Schaltung für die Handsteuerung HST an, die für alle Bahnarten verwendet wird. Bild 2.16 zeigt den zugehörigen Platinenentwurf. In der Schaltung Bild 2.15 fällt der gegenüber bisherigen Schaltungen modifizierte Handregler mit kontinuierlichem Übergang von Halb- auf Vollwellensteuerung auf. Da nur positive Amplituden erzeugt werden müssen (die Umpolung erfolgt mit S2), werden die beiden Halbwellen mit zwei Dioden D1 und D2 addiert. Durch die zwei Serien-Dioden D3 und D4 wird erreicht, daß auch wirklich nur die zweite Halbwelle zur Geltung kommt, nämlich dann, wenn das untere Ende der Trafowicklung positiv ist. *Tabelle 4* enthält die Bauteilangaben.

Die Schaltung nach Bild 2.13a kann in einfacher Weise für Wechselstrom-Modellbahnen modifiziert werden. Der über den Relais-Magneten betätigte

Bild 2.13: Gesamtschaltung des programmierbaren Steuerteiles für Modellbahnen STP:
← 2.13a) bei Gleichstrombetrieb


STP/AC
max. + 40Vs
+5V
C2
R 14
ZD1 22V
D3
A
Ausgang zum PVM
S2
Rel 2
D2
T3
R16
T4
R 15
R 13
C3
ZD2 22V
max. – 40Vs
OV1
R2
R1
P1
S1
Rel 1
D1
R 11
R 12
T1
T2
R5
R6
FF1
1Q
1Q̄
1CL
1PR
FF2
2Q̄
2CL
2PR
LA
LM
LED-Anschlüsse
EM
EP
PR
SA
SM
CL
Eingang manuell
Eingang programm.
Momentkontakt
K
Auto
Umschalter
Man

a) STP/DC

OV1, OV2:	µA 741C DIL (TBA 221 B)
FF1, FF2:	IC 7476
Rel1, Rel2:	Umschalt-Reed-Relais im DIL, z.B. Hamlin 721C
P1, P2:	100KΩ/0,2W
T1 ... T4:	BC 108C
R1, R2, R3, R17, R18	12KΩ/0,2W
R4:	330Ω/0,2W
R5, R6, R7, R8:	5,6KΩ/0,2W
R9, R10, R11, R12:	150Ω/0,2W
C1:	Tantal-Elko 10µF/6V
C2:	10 .... 100nF, Keramik
D1, D2:	1N4148 oder 1N914
Netztrafo:	2 x 12Veff, über Graetz-Gleichrichter gleichgerichtet (± 16Vs)

b) STP/AC

Alle Werte wie oben, jedoch zusätzlich:

C3:	50µF/6V	
R13:	12KΩ/0,2W	R14 : 1,8KΩ/0,2W
D1, 2, 3:	1N4148	R15 : 150Ω/0,2W
ZD1, 2:	ZPD22	R16 : 12KΩ/0,2W
Netztrafo:	2 x 28 Veff, über Graetz-Gleichrichter gleichgerichtet (± 38Vs)	

Tab. 3: Bauteile und Spezifikationen STP-Platine, Bild 2.13a, b

Schalter S2 wird an dieser Stelle weggelassen, ebenso P2 und OV2. Der Ausgang von OV1 wird über eine Diode D3 herausgeführt. Der Relaiskontakt S2 wird zur Betätigung des Überspannungsschalters am Ausgang zum PVM benutzt. Am FF2 sind ebenfalls geringfügige Änderungen vorzunehmen, und zwar wird der Momentkontakt K als Umschalter von Clear nach Preset ausgebildet. Bei einem Betätigen geht 2Q auf Hi und sperrt für die Dauer der Entladung von C3 den Transistor T4. Dieser steuert über den Inverter-Transistor T3 das Relais Rel2, das nur für die Dauer der Umladung von C3 angezogen bleibt. Die Zeitkonstante dieser Umladung ist $T = RC \cdot \ln 2 \approx 0{,}7 \cdot RC$. Der Überspannungsstoß geht also nach dieser Zeit automatisch zurück.
Alle beschriebenen Veränderungen zeigt die Schaltung *Bild 2.13 b.* Die Bauteile sind in *Tabelle 3* bereits aufgeführt. Die Platine (Bilder 2.14) ist so ausgelegt, daß sie hier ebenfalls verwendet werden kann, ohne daß Änderungen notwendig sind. Es sind lediglich die jeweiligen Drahtbrücken einzubauen, die mit „DC" oder „AC" bezeichnet sind.

← Bild 2.13b) bei Wechselstrombetrieb

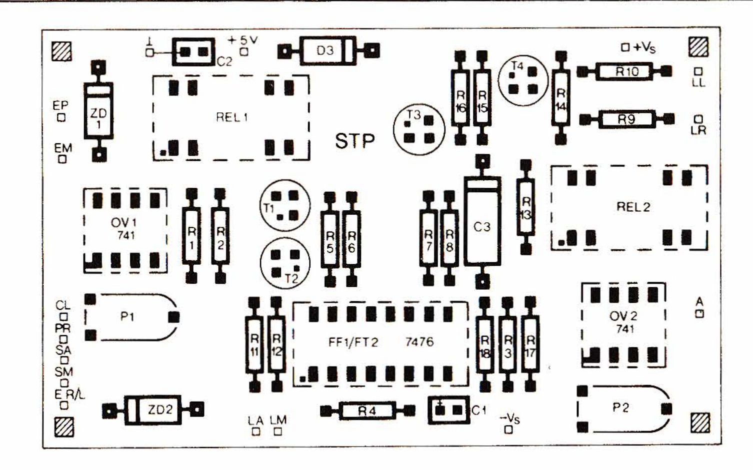


Bild 2.14.1: Bauteile-Anordnung für die Schaltung nach Bild 13a, b

Nach der Bestückung ist die Platine vor der Weiterverwendung sorgfältig zu überprüfen. Dabei geht man folgendermaßen vor:

a) Verwendung der Schaltung nach Bild 2.13a (DC-Modellbahnen)
   1. Kontaktschluß nach Masse von 1CL und 2CL bewirkt Rücksetzen der FFs. Damit muß OV1 auf Handsteuereingang geschaltet sein. Man schließt an EM das Handsteuersignal an und mißt mit einem Voltmeter am Ausgang A. Die Amplitude bei A muß sich kontinuierlich von 0 bis zum negativen Maximalwert einstellen lassen, der mit P1 eingestellt wird.
   2. Kontaktschluß des Schalters für Richtungsänderung ER/L nach Masse setzt FF2. Bei Veränderung des Handsteuersignals muß die Amplitude bei A von 0 bis zum positiven Maximalwert einstellbar sein. Mit P2 wird nun die gleiche Amplitudengröße wie unter Punkt 1 eingestellt.
   3. Es werden an den Ausgängen LA/LM und LR/LL direkt LEDs angeschlossen. Ein Betätigen der Kontaktschlüsse Au, Ma, Cl nach Masse und ER/L muß zu einem wechselseitigen Aufleuchten der LEDs führen. Außerdem müssen bei diesem Vorgang die Relais umschalten, was man möglicherweise sogar hören kann.

b) Verwendung der Schaltung nach Bild 2.13b. Bei der Austestung der Platine nach dieser Schaltung ist sinngemäß genauso zu verfahren. Lediglich

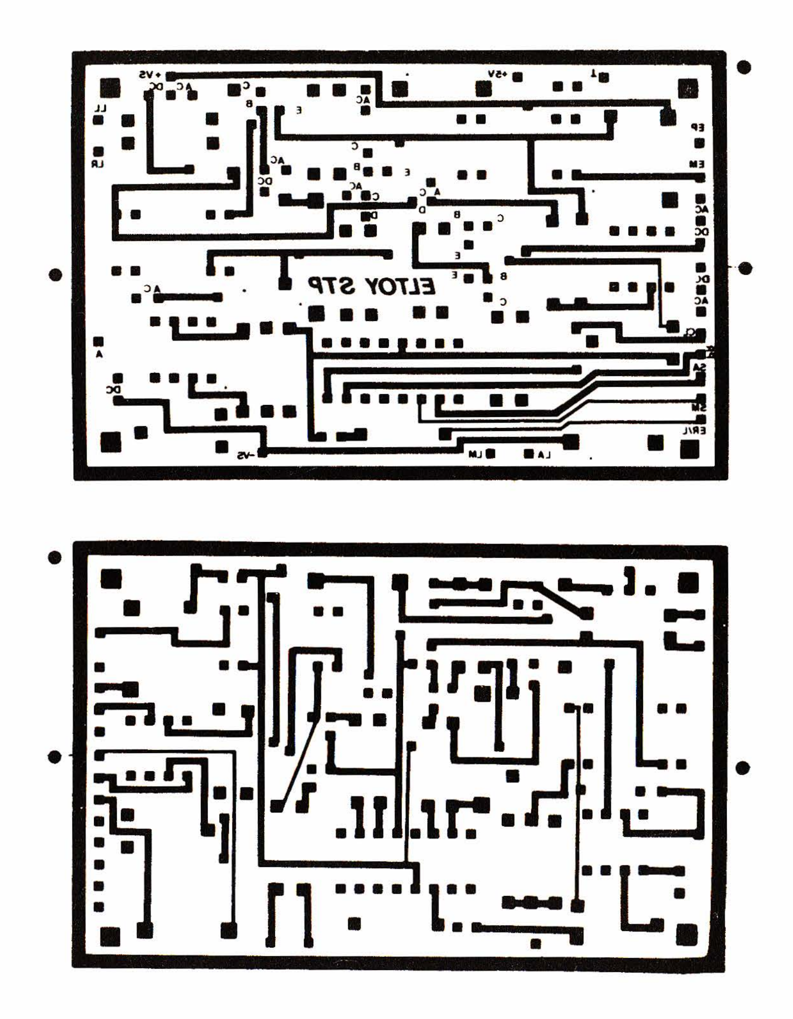


Bild 2.14.2: Platinenentwurf der STP-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

die Richtungsumkehr ist über 2PR anzusteuern, wobei das angegebene Zeitglied etwa für 0,5 s ein Anziehen des Überspannungsrelais' bewirken soll. Die Fahrtrichtungsanzeige-LEDs haben bei Wechselstrombahnen keinen Sinn, da die Stellung des FF2 durch die Überspannungs-Umschalttechnik nicht eindeutig einer bestimmten Richtung zugeordnet ist. Die Fahrtrichtungs-LEDs entfallen daher. Ferner ist zu bemerken, daß diese Überspannungsstoßtechnik ca. 40Vss als positive Vollwelle für den Betrieb benötigt, die über D3 vom Ausgang des Operationsverstärkers 0V1 ferngehalten werden muß. Ferner müssen die Betriebsspannungen über Z-Dioden ZD1/ZD2 auf die zulässigen maximalen Werte von ± 18V reduziert werden.

Bei Inbetriebnahme der Platine nach Bild 2.14 ist es wichtig, genau darauf zu achten, ob man die Schaltung nach Bild 2.13a oder b in Betrieb nehmen will. Wenn etwas nicht geht, empfiehlt es sich daher, sorgfältig noch einmal zu kontrollieren, ob alle Drahtbrücken für den jeweils gewünschten Betrieb auch wirklich eingebaut sind. Gegebenenfalls sollte man die gesamte Leitungsführung überprüfen oder die Funktion der einzelnen Schaltungsabschnitte nachmessen. Diese Platine ist die komplexeste aller hier angegebenen und bietet daher auch die meisten Fehlermöglichkeiten.

Netztrafo:	2 x $12V_{eff}$ oder 2 x $15V_{eff}$ oder 2 x $20V_{eff}$, je nach Modellbahn.
P1:	2 x 10KΩ/0,2W mit Anschlüssen zum Einlöten in Platinen.
R1:	4,7KΩ/0,2W
R2, R3:	2,2KΩ/0,2W
D1 . . . D4:	1N4148
P2:	100KΩ/0,2W
R4:	je nach Anfahrschwelle der Lok, z.B. ca. 2KΩ für Miniclub.

Tab. 4: Bauteile der Handsteuerung HST, Bild 2.15

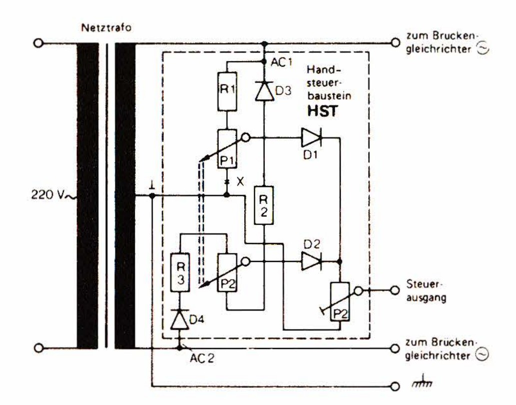


Bild 2.15: Handsteuerung für das programmierbare Modelleisenbahn-Fahrgerät

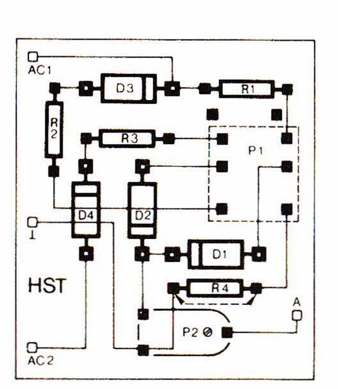
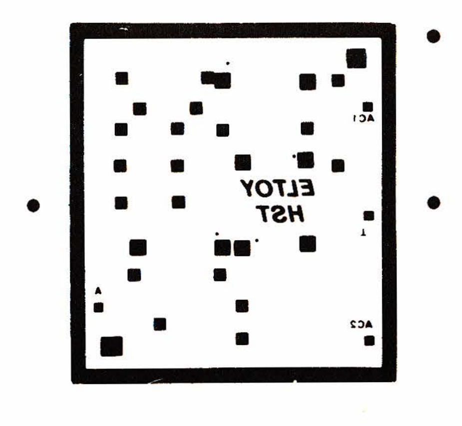


Bild 2.16.1: Bauteile-Anordnung für die Handsteuerung HST



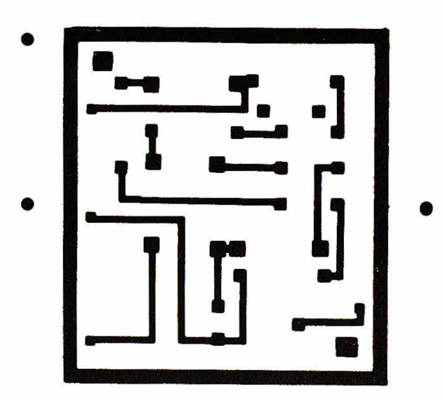


Bild 2.16.2: Platinenentwurf der HST-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

2.3 Stromversorgungen für den Betrieb von programmierbaren Modellbahnen

Für die Stromversorgung programmierbarer Modellbahnen werden in der Regel 2 . . . 4 Spannungen unterschiedlicher Größe benötigt, die zur Versorgung der Elektronik-Bausteine dienen. Die Fahrspannung für die PVM/NVM-Bausteine kann direkt ohne Glättung aus dem Vollweg-Gleichrichter entnommen werden, ebenso die Versorgungsspannungen der Operationsverstärker für die STP-Platine. Lediglich die Versorgungsspannungen für die Steuer-Elektronik müssen durch einen ausgangsseitigen Siebelko geglättet werden. Der übliche Ladeelko kann bei Verwendung der PVM/NVM-Bausteine entfallen. Zur Vereinfachung des Aufbaues werden diezwei Eingangsdioden D2 und D'2 eingebaut (Bild 2.3), die als Vollweggleichrichter für jeden der beiden Bausteine dienen.
Die Schaltung einer solchen Stromversorgung zeigt *Bild 2.17a.* Es wird der bereits aus den Fahrgeräteschaltungen bekannte Trafo mit Mittelanzapfung verwendet, so daß die beiden Halbbrücken in den PVM/NVM-Bausteinen direkt angeschlossen werden können. Die Referenzspannung wird über einen getrennten Brückengleichrichter mit Z-Dioden erzeugt. Die Erzeugung der Referenzspannung ist in Bild 2.17b noch einmal separat gezeichnet, da diese Bauelemente auf einer eigenen kleinen Platine zusammengefaßt werden sollen. Diese Platine ist in Bild 2.17c gezeigt.

Da kein Ladeelko verwendet wird, werden die Vollwellen in ihrer Amplitude begrenzt, so daß die Elkos C sich auf die Spannung x − 1V aufladen, da etwa 1V zur Ansteuerung an den PVM/NVM „hängenbleibt". Die Spannung an den Punkten X, Y muß also 1V höher sein als die gewünschte maximale Ausgangsspannung. Soll die Ausgangsspannung einstellbar sein, so können Trimmpotentiometer P1, P2 vorgesehen werden. Die Dioden D1 und D2 sind Schutzdioden für den Fall, daß versehentlich der positive Ausgang mit dem negativen Ausgang verbunden wurde. Würden nämlich P1 oder P2 am oberen Anschlag stehen, so könnte durch die Z-Diode ein so hoher Strom fließen, daß diese zerstört würde.
Die praktischen Ergebnisse mit dieser Schaltung sind gemessen am Aufwand sehr gut. Ein solches Netzgerät ist gegen jede nur denkbare Betriebsart geschützt und erreicht auf Grund der Eigenschaften der PVM/NVM-Bausteine sehr geringe Innenwiderstände von etwa 0,3 Ω. Die Brummspannung bleibt bis 2A unter 0,2Vss und liegt bei 1A unter 50mVss.
Für die Praxis einer programmierbaren Modellbahn werden folgende Betriebsspannungen benötigt:

a) Versorgung der Fahrspannungs-Module: ± 15 . . . ± 20Vs ungesiebte Vollwellen – Gleichrichtung. Diese Spannungen liefert ein Trafo mit zwei Wicklungen 12V oder 15V über einen Brückengleichrichter (Punkte A, B in Bild 2.17a).
b) Versorgung der IC-Elektronik ± 5V mit ausgangsseitigem Glättungselko.
c) Versorgung der Mikrocomputer-Elektronik: neben den ± 5V werden auch noch ± 12V mit Glättungselko benötigt.

Die Schaltungstechnik (Bilder 2.17) hat den entscheidenden Vorteil, daß alle Spannungen aus einem einzigen Trafo gewonnen werden können, wobei allerdings bei Strömen, die bei dem 5-V-Netzteil über 2A hinausgehen, zweckmäßigerweise ein separater Trafo mit 2 x $9V_{eff}$ vorzusehen ist, damit nicht zu viel Verlustleistung in den PVM/NVM-Bausteinen entsteht.

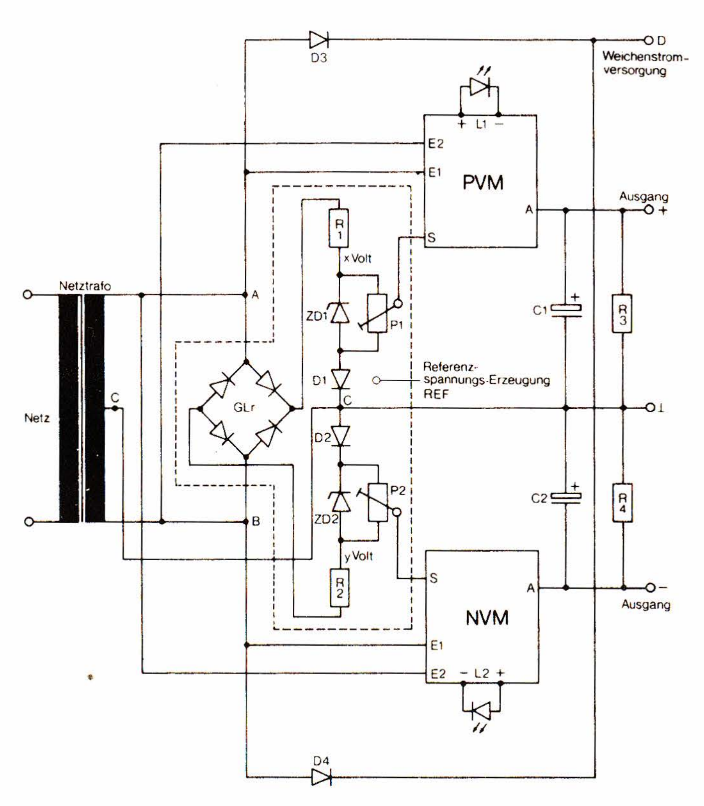


Bild 2.17: Schaltung einer Stromversorgung für programmierbare Modelleisenbahnen:
Bild 2.17a) Gesamtschaltung

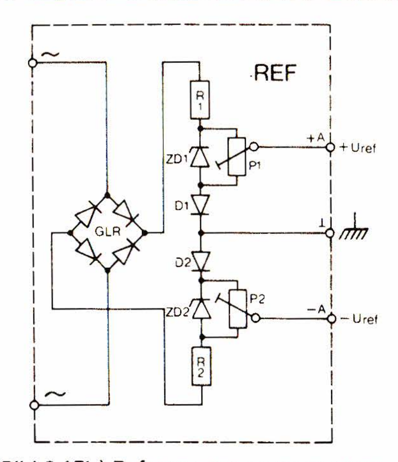


Bild 2.17b) Referenzspannungserzeugung

Die folgende *Tabelle 5* gibt die Bauteile für eine Schaltung nach Bilder 2.17 an. Es können dabei beliebig viele Spannungsversorgungen an die Punkte A-B-C angeschlossen werden.

Gewünschte Ausgangs-Gleichspannung	±5V	±12V	±15V
Trafo-Ausgänge, min.	2 x $9V_{eff}$	2 x $18V_{eff}$	2 x $20V_{eff}$
Z-Dioden ZD1, 2	ZPD 5,6	ZPD 13	ZPD 16
Dioden D1, 2	1N4001	1N4001	1N4001
Dioden D3, 4	1N5401	1N5401	1N5401
Gleichrichter GLR: z.B.	B40C2000	B40C2000	B40C2000
Widerstände R1, R2	120Ω/0,2W	120Ω/0,2W	120Ω/0,2W
Trimmpot. P1, P2	500Ω/0,2W	1KΩ/0,2W	1KΩ/0,2W
Siebelko C1, C2	10000µF/6V	4700µF/16V	4700µF/16V
Brummspannung	0,2Vss	0,05Vss	0,05Vss
bei Laststrom	bei 2A	bei 1A	bei 1A
Vorlastwiderstand R3	150Ω/0,2W	330Ω/0,5W	470Ω/0,5W
Innenwiderstand	ca. 0,3Ω	ca. 0,3Ω	ca. 0,3Ω

Tab. 5: Bauteile und Spezifikationen der Stromversorgung, Bild 2.16

Bei diesen Bauteileangaben fällt auf, daß die Siebelkos in ihrer Spannung sehr knapp dimensioniert werden können, da die Spannungen an ihnen auch im Leerlauf nie größer werden können als die gewünschten Ausgangsspannungen. Die Trafowicklungen können natürlich auch höhere Spannungen haben, wobei dann allerdings die Kühlkörper der PVM/NVM entsprechend größer zu dimensionieren sind. Der maximal mögliche Laststrom wird vom gewählten Typ der PVM/NVM-Bausteine bestimmt.

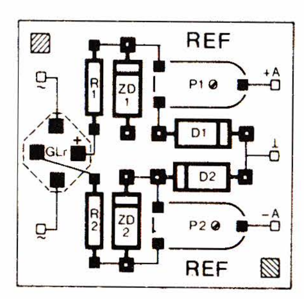
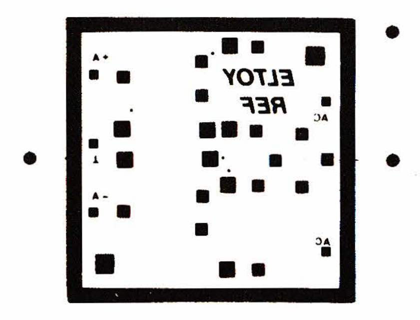


Bild 2.17c): Bauteile-Anordnung der REF-Platine



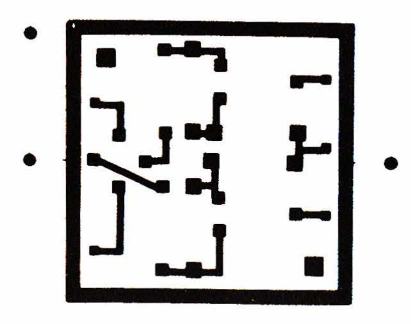


Bild 2.17d): Platinenentwurf der REF-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

2.4 Signaltechnik für programmierbare Modellbahnen

2.4.1 LED-Signaltechnik mit Ansteuerung über TTL-Pegel

Programmierbare Modellbahnen erfordern natürlich eine neue Signaltechnik, die sich voll an die Anforderungen der TTL-Technik anpassen muß. Das bedeutet:

1. Rot-Grün-Signale (Hauptsignale) müssen mit TTL-Pegeln kompatibel sein, d.h. bis zu einer Steuergleichspannung von einigen 100mV (logischer Pegel Lo) wird grünes Signal gegeben, ab einigen Volt (in der Regel etwa 2V, logischer Pegel Hi) wird rotes Signal gegeben.
2. Die Leuchtelemente in den Signalen sind selbstverständlich mit LED's zu bestücken, da diese die notwendige Kleinheit mit guter Helligkeit verbinden. Außerdem läßt sich die ziemlich genau definierte Spannung in Flußrichtung an der Diode sehr vorteilhaft für eine Vereinfachung der Schaltungstechnik ausnutzen.

Bild 2.18 zeigt diese Schaltungstechnik für ein Hauptsignal mit roten und grünen LEDs. Solange das Steuersignal Lo ist, leuchtet die grüne LED, da die rote über den gesperrten Transistor abgetrennt ist. Sobald jedoch das Steuersignal Hi wird, leuchtet die rote LED, da die grüne in Serie mit einer Diode liegt und mehr Spannung benötigt als die rote, die in Serie mit der Kollektor-Emitter-Spannung liegt (bei leitendem Transistor etwa 0,2V). Diese Schaltungstechnik spart erheblich an Aufwand und hat sich in der Praxis gut bewährt.

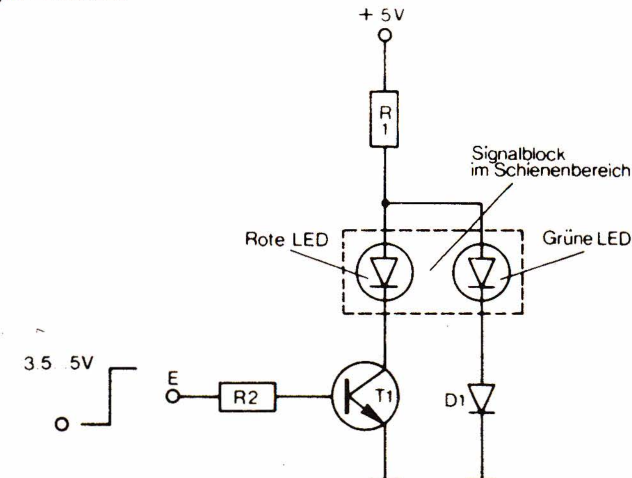


Bild 2.18: Schaltung eines TTL-kompatiblen LED-Signals für Modelleisenbahnen

2.4.2 Automatische Steuerung von Signalen an Trennstellen bei Gleichstrom-Modellbahnen

Bild 2.19 zeigt das Problem einer Trennstelle bei einer Gleichstrombahn, wobei die beiden Gleise A und B von verschiedenen Fahrgeräten gespeist werden. Die Trennstelle X ist nur überfahrbar, wenn die beiden spannungsführenden Leitungen a und b gleiche Polarität haben. Dann nämlich hat eine Lok auf Gleis A dieselbe Fahrtrichtung wie auf Gleis B und die Trennstelle X ist ohne Probleme überfahrbar. Besteht jedoch zwischen a und b ungleiche Polarität der Fahrspannung, so ist ein Überfahren der Trennstelle X unmöglich, weil die Lok im Moment des Überfahrens die Fahrspannung für die andere Richtung erhält und somit auf der Trennstelle ständig hin- und herfährt. Es ist daher zweckmäßig, an diese Stelle ein Hauptsignal zu bauen, das bei ungleicher Polarität der Fahrspannungen der beiden Fahrgeräte auf „ROT" geschaltet wird. Die Steuerung des Hauptsignals in dieser Weise besorgt die Schaltung RF, die auch als doppelpolige Logik-Schaltung bezeichnet werden kann.
Bild 2.20 zeigt die Schaltung. Es handelt sich praktisch um einen Phasendetektor, der aus der Serienschaltung eines PNP- und eines NPN-Transistors besteht, wobei beide Transistoren über das positive bzw. negative Ende eines Brückengleichrichters angesteuert werden. Nur bei unterschiedlicher Polari-

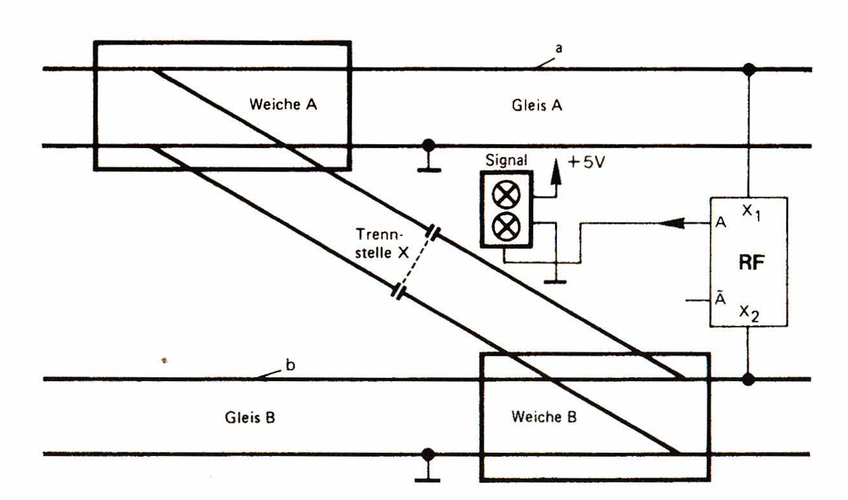


Bild 2.19: Signalschaltung an einem geraden Weichenübergang

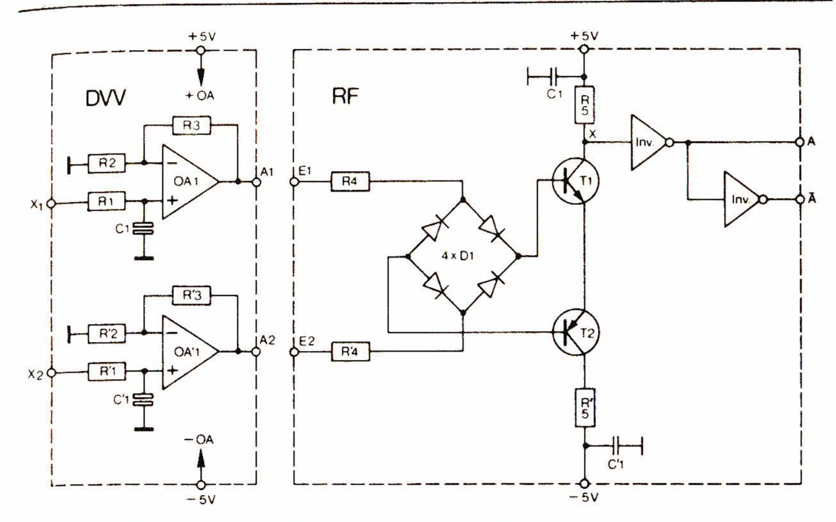


Bild 2.20: Schaltung des Richtungsfühlers RF für Gleichstrom-Modellbahnen mit doppeltem Vorverstärker DVV.

tät an beiden Eingängen werden beide Transistoren leitend, so daß am Punkt X der logische Pegel Lo entsteht. Am Ausgang A steht dann Hi und an $\bar{A}$ Lo. Die Schaltung wird über einen doppelpoligen Vorverstärker DVV angesteuert, so daß bereits kleine Amplituden, die unter der Anfahrschwelle der Loks liegen, die Schaltung voll durchsteuern. Auf diese Weise können in einem Schienennetz mit vielen Fahrgeräten alle diejenigen Trennstellen durch Rot-Signale markiert werden, die in dem augenblicklich herrschenden Betriebsfall gerade nicht überfahrbar sind. Diese Information ist insbesondere dann notwendig, wenn man bei programmierbarem Betrieb Zusammenstöße vermeiden will.

Die Bauteileangaben zu Bild 2.20 sind aus *Tabelle 6* zu ersehen, den Platinenentwurf zeigen *Bilder 2.21.* Eine Platine enthält 2 doppelpolige Logik-Bausteine RF, da die mit dieser Schaltung lösbaren Probleme meist paarweise auftreten, wie man später sehen wird. Der Vorverstärker-Baustein DVV

DVV	
R1, R'1:	33KΩ/0,2W
R2, R'2:	270Ω/0,2W
R3, R'3:	33KΩ/0,2W
C1, C'1:	10µF/30V Bipolarer Elko
OA1, OA'1:	µA741C/DIL oder TBA 221B
RF	
R4, R'4:	5,6KΩ/0,2W
D1:	4 x 1N4148 oder vergleichbares Diodenquartett (Miniatur-Gleichr.)
T1:	BC108C
T2:	BC178C
Inv.:	IC 7404, normaler Inverter oder IC 7414, Schmitt-Trigger-Inverter.

Tab. 6: Bauteile und Spezifikationen DVV/RF, Bild 2.20

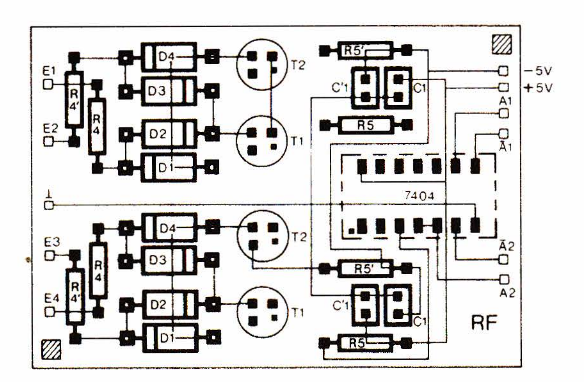
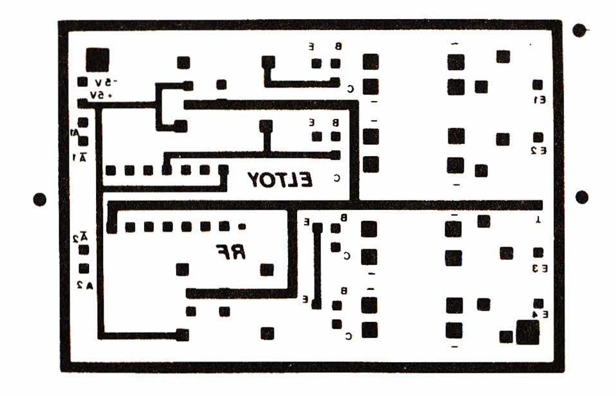


Bild 2.21.1: Bauteile-Anordnung für die Schaltung nach Bild 2.20



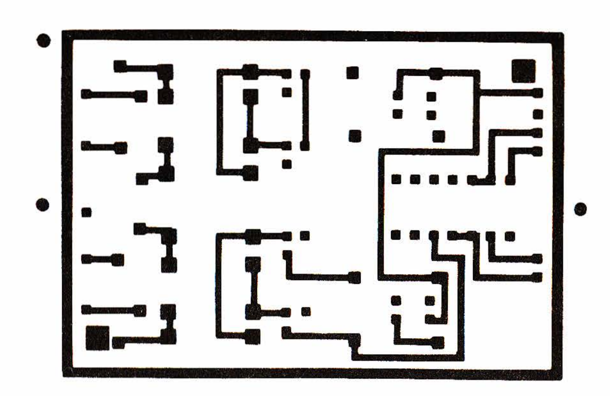


Bild 2.21.2: Platinenentwurf der RF-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

wird auf einer getrennten Platine ausgeführt, da er mit seinen Eingängen direkt an die hochliegenden Punkte der Fahrgeräteeinspeisungen zu den Schienensträngen angeschlossen wird. Die Ausgänge sind dann je nach Gleisnetzwerk an verschiedene RF-Schaltungen anzuschließen, je nachdem von welchem Block auf welchen Nachbarblock Weichenverbindungen führen. Mit dieser Technik gelingt es dann, die Fahrtrichtungen auf einem bestimmten Gleisnetz in logische Information umzusetzen, ein für programmierbare Modellbahnen unschätzbarer Erfolg. Den Platinenentwurf für den DVV-Baustein zeigen *Bilder 2.22.*

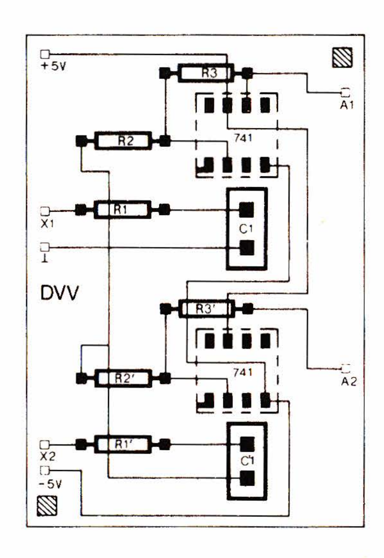


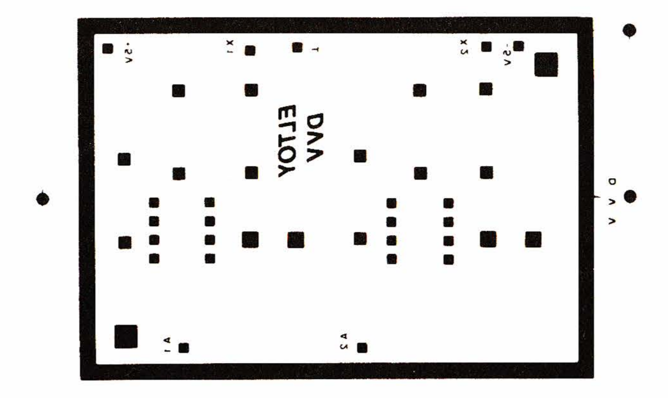
Bild 2.22.1: Bauteile-Anordnung der DVV-Platine

Die Platinen DVV und RF müssen vor ihrem Einbau in die Bahnanlage sorgfältig auf ihre Funktion getestet werden. Ein gleichzeitiges Anlegen von etwa + 1,8V (– 1,8V) an E1 und – 1,8V (+ 1,8V) an E2 muß den Ausgang A zu Hi und $\bar{A}$ zu Lo machen. Mit nur einer Spannung, auch wenn sie wesentlich größer ist, darf die Schaltung nicht schalten.
Der doppelte Vorverstärker ist so ausgelegt, daß Halbwellen, die deutlich unter der Anfahrschwelle der Loks liegen, am Ausgang A1/A2 bereits die

maximale Ausgangsspannung von ca. ± 4V bringen. Dies ist bereits bei einer Halbwellen-Spitzenspannung von weniger als 100 mV der Fall. Die Schaltung ist so dimensioniert, daß auch schmale Impulse, wie sie von pulsbreitemodulierten Fahrgeräten erzeugt werden, die Schaltung sicher zum Ansprechen bringen.

2.4.3 Fahrtrichtungselektronik bei Modellbahnen mit Richtungsumkehr durch Überspannungsstoß

Das besonders bei AC-Modellbahnen verwendete Prinzip der Richtungsänderung durch einen Überspannungsimpuls bedingt, daß die bisher beschriebene Richtungsfühler-Elektronik nicht verwendet werden kann. Das Problem des Trennstellen-Überganges zwischen zwei Blöcken, die aus getrennten Fahrgeräten gespeist werden, ist hier auch nicht so gravierend, solange beide Fahrgeräte eine Fahrspannung mit derselben Phasenlage erzeugen; das wird in der Praxis immer erreicht, wenn alle Fahrtregler aus einem einzigen Trafo gespeist werden.
Eine Fahrtrichtungselektronik für AC-Modellbahnen wäre z.B. denkbar, indem man das Auftreten eines Richtungs-Umschalt-Impulses mit einer Block-Besetzt-Anzeige durch eine UND-Schaltung verknüpft und mit diesem Signal ein Flip-Flop wechselt, so daß der jeweilige Zustand dieses Flip-Flops eine Aussage über die Fahrtrichtung auf dem jeweiligen Block gibt, an den sie angeschlossen ist. Es ist dann allerdings notwendig, nach dem Einschalten die Fahrtrichtung der Lok auf einem Block mit der Stellung des entsprechenden Flip-Flops in Übereinstimmung zu bringen. Da dies für jede verwendete Lok und jeden Block erfolgen muß, kann das ein sehr zeitraubender Prozeß sein. Vor allem aus diesem Grunde wird hier die Anpassung der Richtungsfühler-Elektronik an dieses älteste Modellbahnkonzept nicht weiter verfolgt.



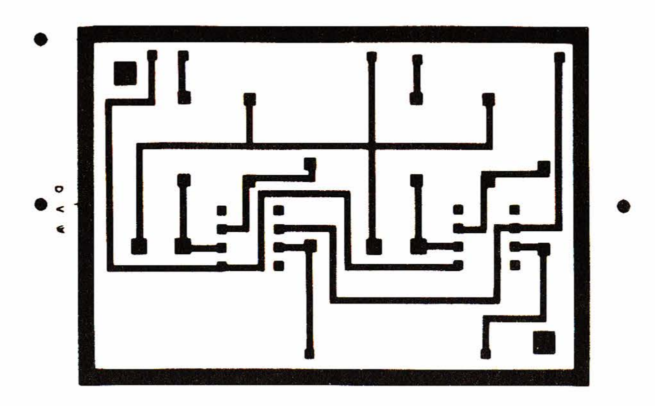


Bild 2.22.2: Platinenentwurf der DVV-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

2.5 Anschluß der Weichen mit Doppelspulen-Antrieb an die TTL-Steuerung

2.5.1 Das Weichen-Interface WIF

Das Weichen-Interface ermöglicht die Steuerung der Weichen über TTL-Signale. Wenn ein bestimmter TTL-Pegel am Steuereingang anliegt, z.B. Hi, dann schaltet das Interface die entsprechende Weiche auf Abzweigen; wird der logische Pegel Lo, so wird die Weiche zurückgeschaltet. Außerdem muß das Interface Zeitglieder enthalten, die den Schaltstrom in den Spulen nur für einen kurzen Zeitraum, z.B. 0,5 s, fließen lassen.

Bild 2.23 zeigt die Schaltung für ein solches Interface, wobei mit dieser Schaltung alle gebräuchlichen Weichen mit Doppelspulen-Antrieb angesteuert werden können. Wichtig ist hier lediglich, daß bei denjenigen Weichen, die sich normalerweise nur mit Wechselstrom schalten lassen, die Versorgung der gemeinsamen Magnetspulenleitung an den Pluspol der ungeglätteten Vollwellen-Gleichspannung angeschlossen wird. In Bild 2.17 ist dieser

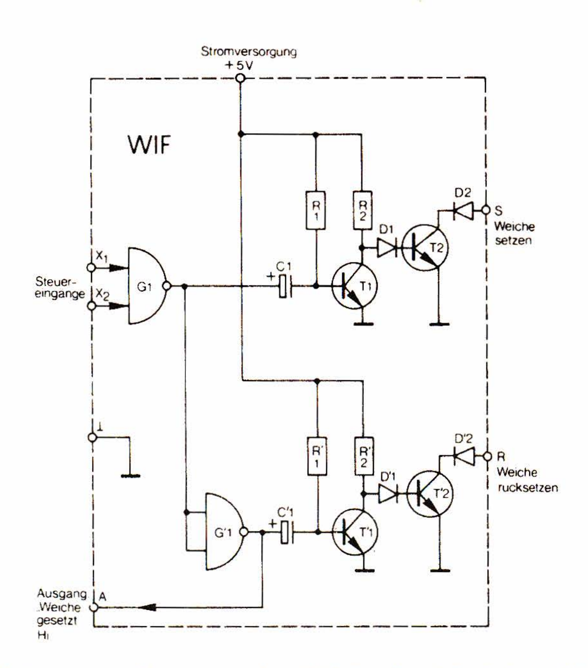


Bild 2.23: Schaltung eines Weicheninterface WIF für alle gebräuchlichen Weichentypen

Punkt mit D gekennzeichnet. Es sollen zwei getrennte Dioden D2, D4 von A und B nach D verwendet werden, da bei mehreren Weichenpaaren Schaltströme von einigen A fließen können.

Die Funktionsweise der Schaltung soll hier kurz besprochen werden. Es sind zwei Steuereingänge x1 und x2 vorhanden, wobei der eine Eingang z.B. an die Richtungselektronik RF angeschlossen werden kann, und der zweite Eingang von einer Programmspeicherzelle angesteuert wird, die dann ein Vorprogrammieren der Weichen ermöglicht. Die UND-Verknüpfung am Eingang des Weicheninterface sorgt nun dafür, daß nur diejenigen Weichen auf Abzweigen geschaltet werden können, die zu überfahrbaren Trennstellen gehören. Damit werden Blockierungen von Trennstellen unmöglich gemacht, was für eine programmierbare Modellbahn von unschätzbarem Wert ist. Das Blockschaltbild einer solchen automatischen Weichensteuerung ist in *Bild 2.25* gezeigt. Der darin skizzierte Programmspeicher VP wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

In Bild 2.23 folgen nach der UND-Verknüpfung zwei als Monoflops geschaltete Zeitglieder, deren Kollektoren über die Dioden D1, D'1 an die Steuertransistoren für die Spulenantriebe angeschlossen sind. Die Dioden D1, D'1 sorgen dafür, daß eine zusätzliche Spannungsschwelle von ca. 0,5V überwunden werden muß, bis die Transistoren T2, T'2 leitend werden. In dieser Schaltungstechnik wirkt R2 zugleich als Basiswiderstand für T2, so daß durch die Dioden D1, D'1 die Restspannung U_{CE} an T1 nicht so kritisch ist. Da die Weichen meist in Paaren zusammengeschaltet werden müssen (in Bild 2.25 sollen z.B. Weiche A und Weiche B zugleich schalten), müssen die Transistoren T2 für Schaltströme von 0,5 . . . 1A ausgelegt sein. Unter diesen Betriebsarten kann man nicht mit sehr großen Stromverstärkungen rechnen, so daß für R2 ca. 100Ω vorzusehen sind. Die Rücksetzschaltung in der unteren Hälfte von Bild 2.23 ist mit der Setzschaltung identisch mit Ausnahme der Tatsache, daß sie über eine als Inverterstufe geschaltete zweite UND-Stufe angesteuert wird; damit verhält sich dieser Schaltungsabschnitt immer komplementär zum anderen. Die Zeit t, während der durch die Transistoren T2 Strom fließt, ist von R1 und C1 abhängig und beträgt

$$t = 0{,}7 R \cdot C.$$

Durch Bauteiltoleranzen kann sie ca. 1s erreichen, was jedoch praktisch ohne Belang ist. Der Ausgang dieser Inverter-Stufe G' kann übrigens als Signal „Weiche gesetzt" dienen. Die Dioden D2, D'2 dienen als Schutzdioden zur Unterdrückung von versehentlich an R,S angelegten negativen Spannungen.

Tabelle 7 gibt die Bauteile-Werte und Spezifikationen der Schaltung an, und *Bilder 2.24* zeigen den Platinenentwurf, wobei aus Packungsgründen (4 UND-Schaltungen pro IC) immer 2 Weichen-Interfaces auf einer Platine zusammengefaßt sind.

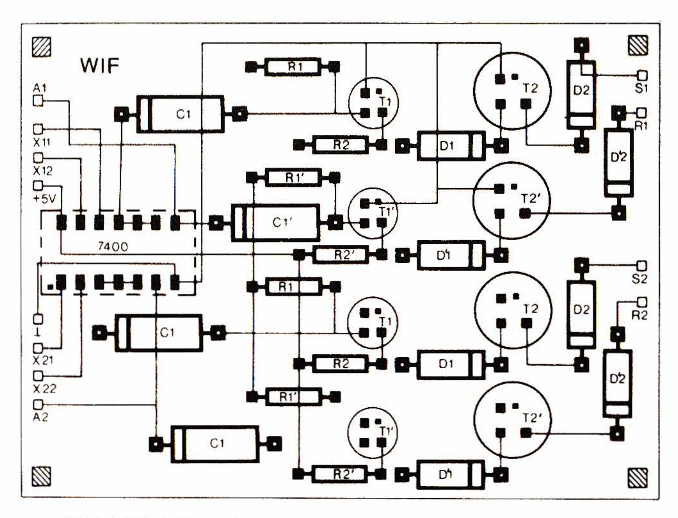


Bild 2.24.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.23

G1, G'1: IC7400
R1, R'1: 10KΩ/0,2W
R2, R'2: 100Ω/0,3W
C1, C'1: 50μF/6V (Elko)
D1, D'1: 1N4148
D2, D'2: 1N4001
T1, T'1: BC108C
T2, T'2: BC140-16

Maximaler Schaltstrom: 1A (ca. 4 Weichen)
Schaltspannung des Magnetartikels: bis ca. 40V
Zeitdauer des Schaltstromflusses: ca. 0,4 sec.

Tab. 7: Bauteile und Spezifikationen WIF, Bild 2.23

Die Schaltung muß nach der Bestückung sorgfältig ausgetestet werden. Nach dem Anschließen von mindestens einem Weichenpaar und dem Anlegen der Versorgungsspannungen schaltet die Elektronik auf Abzweigen, weil bei offenem x_1 und x_2 die UND-Schaltung eingangsseitig Hi sieht und so am Eingang von C1 Lo erzeugt. Ein Anschließen eines x_i nach Masse muß ein Rückschalten in den nicht abgezweigten (geraden) Zustand bewirken. Im Ruhezustand, d.h. nach dem Schaltvorgang, sollte am Kollektor von T1 etwa 0,2V liegen (bis 0,7V sind zulässig). Wenn diese Spannung höher ist, muß T1 ausgewechselt werden, da sonst die Gefahr besteht, daß T2 dauernd leitet und die Magnetspulen zu heiß werden.

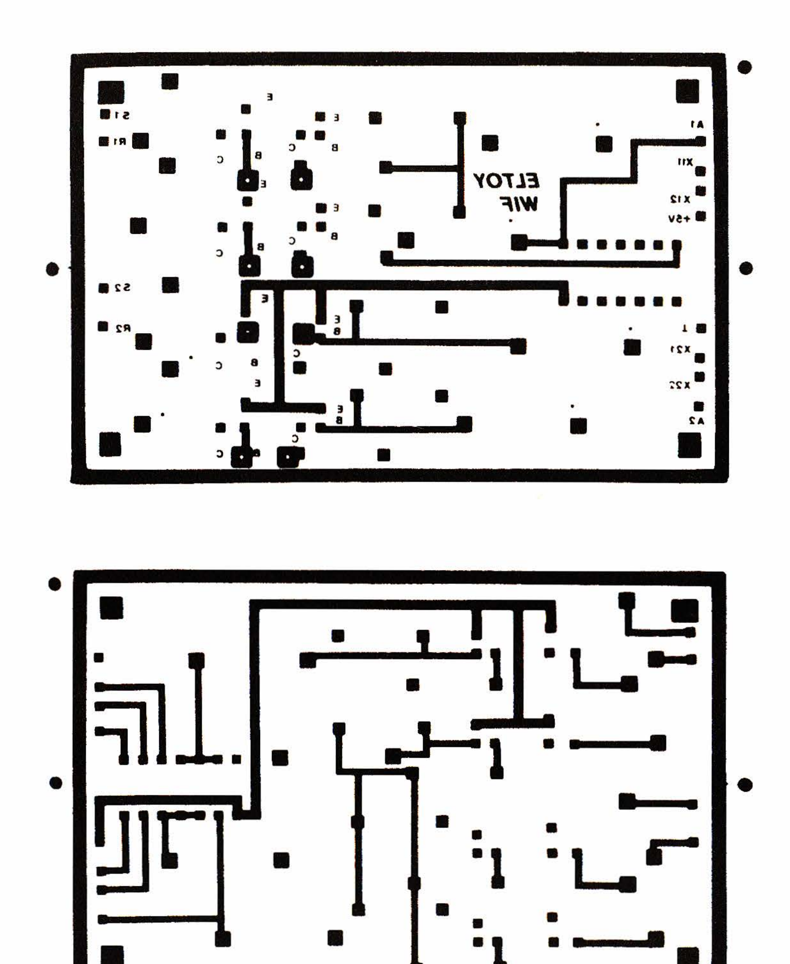


Bild 2.24.2: Platinenentwurf der WIF-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

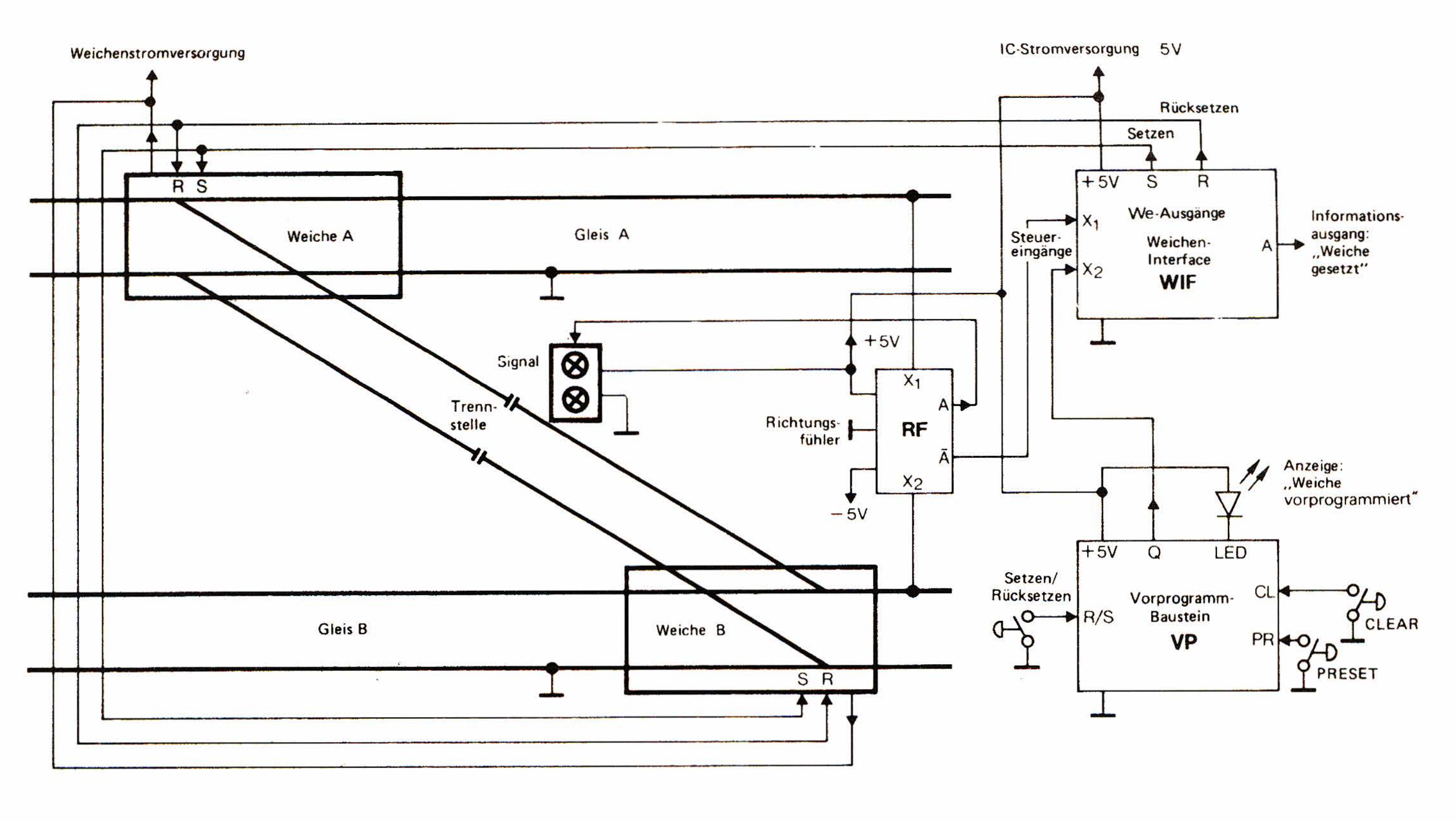


Bild 2.25: Automatische Weichensteuerung mit Vorprogramm-Baustein VP

2.5.2 Der Vorprogrammbaustein VP

Ergänzend soll nun noch der in Bild 2.25 skizzierte Programmspeicher besprochen werden. *Bild 2.26* zeigt die Schaltung. Es handelt sich um einen mit Flip-Flop-IC's bestückten binären Speicher, dessen Speicherzellen die IC's 7476 bilden. Wie auf der STP-Platine werden auch hier diese Flip-Flops besonders vorteilhaft eingesetzt, da sie mehrere Steuereingänge (insgesamt 5) haben, wobei hier nur 3 verwendet werden: PR = Preset setzt die Flip-Flops, CL = Clear löscht die Flip-Flops, und CK = Clock wechselt ihren Zustand. In dieser Schaltung werden CL und PR jeweils zusammengeschaltet, so daß mit einem einzigen Kontaktschluß alle Flip-Flops gelöscht oder gesetzt werden können. Die CK-Eingänge sind über RC-Glieder an Momentkontakte nach Masse herausgeführt, so daß diese Siebglieder bei einigermaßen guten Kontakten zum Entprellen ausreichen. Wer jedoch ganz sicher sein will, kann vor dem CK-Eingang noch zwei Inverter aus dem IC 7414 davorschalten. An die Flip-Flop-Ausgänge Q ist noch je ein LED-Treiber-Transistor zur Speicheranzeige angeschlossen. Die *Tabelle 8* gibt die Bauteile an, und *Bilder 2.27* zeigen die Platine, wobei aus Packungsgründen 4 Flip-Flops zusammengefaßt sind.

Auch diese Platine muß nach der Bestückung sorgfältig ausgetestet werden, da sie trotz ihrer Einfachheit genügend Möglichkeiten für Fehler bie-

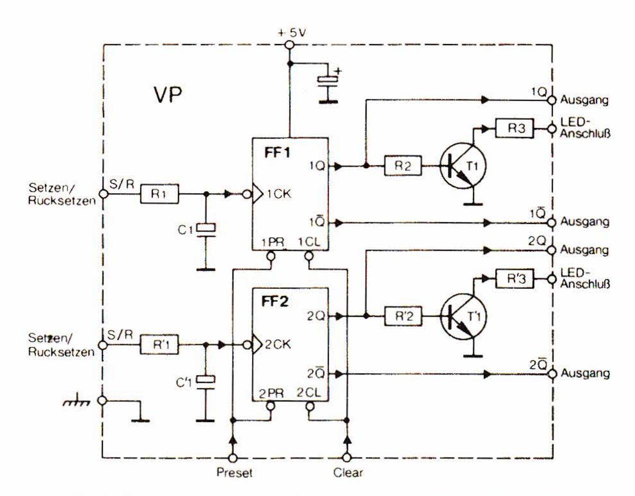


Bild 2.26: Schaltung des Vorprogramm-Bausteines VP

FF1, FF2:	IC 7476
R1, R'1:	330Ω
C1, C'1:	10μF/6V Tantalelko
R2, R'2:	10KΩ
R3, R'3:	100 . . . 330Ω, je nach LED
T1, T'1:	BC 108C
C2:	10 . . . 100nF Keramik

Tab. 8: Bauteile Vorprogramm-Baustein VP, Bild 2.26

tet. Es ist für jedes Flip-Flop zu testen, ob ein Kontaktschluß nach Masse die Flip-Flops in den gewünschten Zustand schaltet und ob eine extern angeschlossene LED sicher zum Aufleuchten kommt. Dabei kann es je nach verwendeter LED notwendig sein, den Kollektor-Widerstand zu verändern, je nachdem, welcher Strom die verwendeten LEDs zum genügend hellen Aufleuchten bringt.

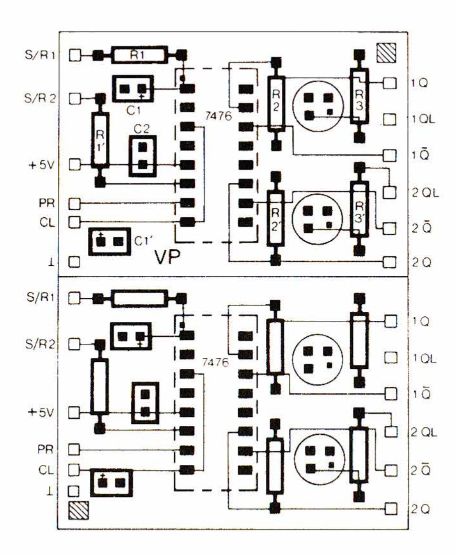


Bild 2.27.1: Bauteile-Anordnung für 4 Speicherzellen nach Schaltung Bild 2.26

2.6 Automatische Wendeschleifen-Technik

Während Wechselstrombahnen mit Mittelkontakt das Problem der Wendeschleife nicht kennen, tritt dieses Problem bei allen Gleichstrom-Modellbahnen auf und ist bei Zweileiter-Gleichstrombahnen besonders gravierend: in dem Moment, in dem die Lok über die Trennstelle fährt, erzeugt sie mit ihren Rädern Kurzschluß, da sie an der Stoßstelle die Masseschiene mit der spannungsführenden Schiene verbindet.
Bei einer Modellbahn mit mehreren Fahrgeräten tritt dieses Problem immer dann auf, wenn von einem Schienenstrang A, der an das eine Fahrgerät angeschlossen ist, über einen Halbbogen in einen zweiten Schienenstrang B eingefahren werden soll, der an ein anderes Fahrgerät angeschlossen ist. *Bild 2.28* zeigt eine solche Anordnung. Mit Hilfe der dort angegebenen Elektronik gelingt eine perfekte Wendeschleifentechnik, die allen Ansprüchen gerecht wird. Dabei ist das Prinzip sehr einfach: auf dem Halbbogen werden zwei Trennstellen vorgesehen, die von einem doppelpoligen Relais wahlweise dort zuerst überbrückt werden, wo der Zug in die Wendeschleife einfährt. Ein vom Zug in der Mitte des Halbbogens betätigter Kontakt wechselt das Relais.
Kernstück einer solchen Schaltung ist eine Wendeschleifen-Elektronik, die folgende Eigenschaften erfüllt:

1. Freigabe der Elektronik über das invertierte Ausgangssignal $\bar{A}$ von der RF-Schaltung, da die Wendeschleife nur dann freigegeben werden kann, wenn auf Gleis A und Gleis B entgegengesetzte Polarität besteht, was entgegengesetzter Fahrtrichtung entspricht. Dieses Signal $\bar{A}$ kann zugleich zur Signal- und Weichensteuerung herangezogen werden.
2. Schalten des Relaiskontaktes r1 und r2 je nachdem, welche Lichtschranke A oder B zuerst unterbrochen wurde. Ist eine Lichtschranke einmal unterbrochen, darf ein Unterbrechen der zweiten Lichtschranke keinen Relaiswechsel hervorrufen, da ein auf dem zweiten Gleis fahrender Zug den in die Wendeschleife einfahrenden Zug behindern könnte. Die Lichtschranken A und B sind daher als Richtungslichtschranken geschaltet.
3. Der Kontakt K führt einen unbedingten Wechsel des Relais aus, d.h. das Relais fällt ab, wenn es vorher angezogen war und umgekehrt.

Die Wendeschleifen-Elektronik zerfällt daher in zwei Abschnitte: eine Richtungs-Lichtschranken-Elektronik und ein Logik-Relais, wobei beide Platinen so ausgelegt sind, daß sie auch noch andere Aufgaben erfüllen können.

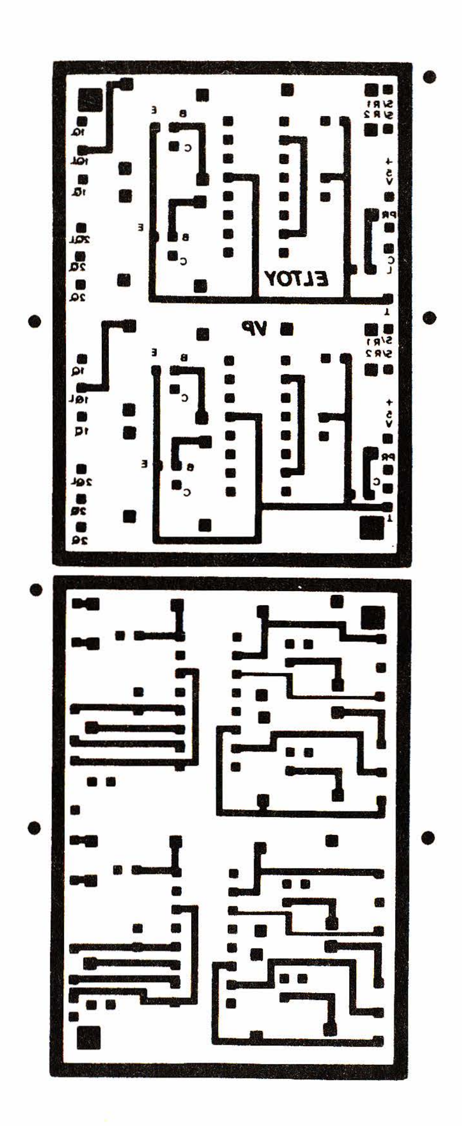


Bild 2.27.2: Platinenentwurf der VP-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

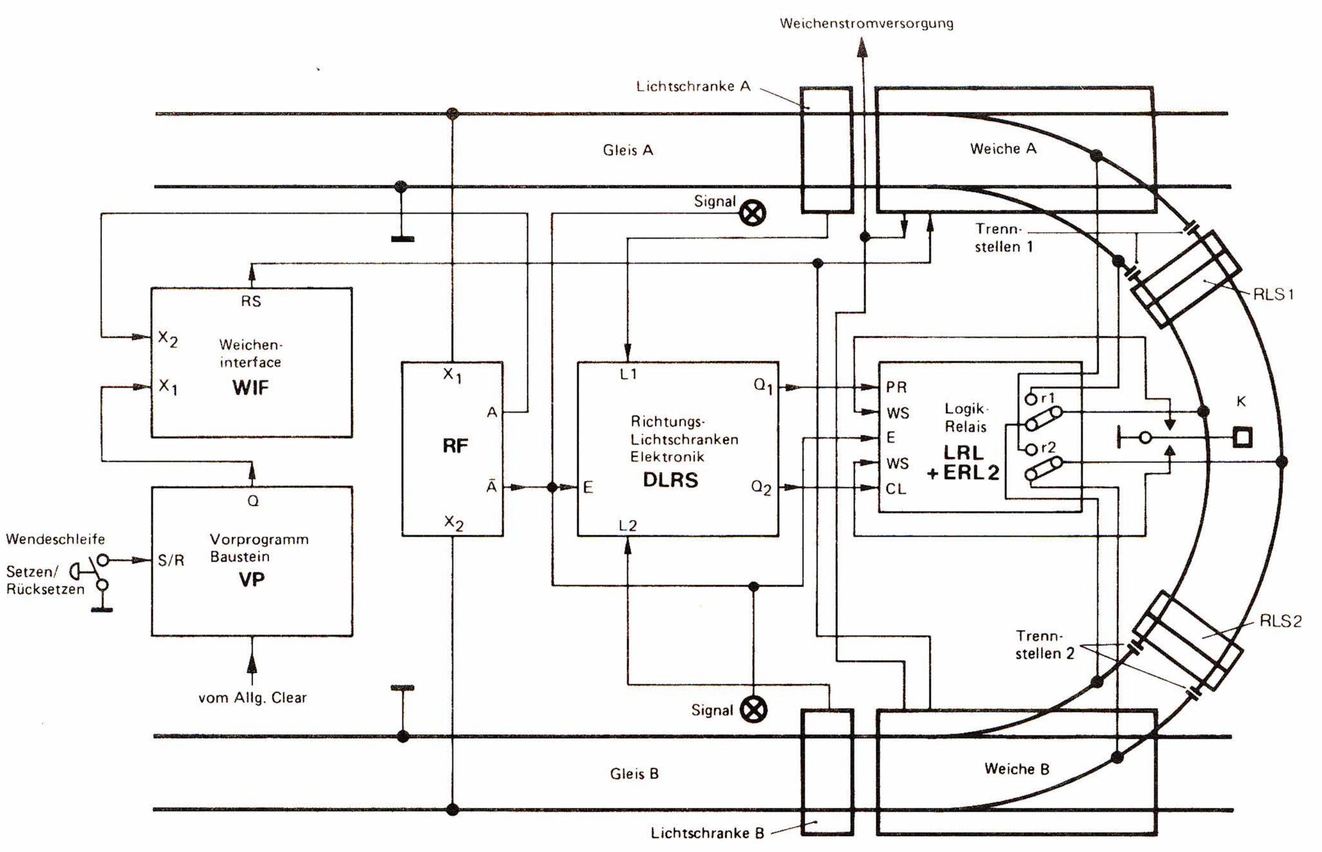


Bild 2.28: Blockschaltbild einer perfekten Wendeschleifenelektronik mit Lichtschrankensteuerung

2.6.1 Richtungs-Lichtschrankenelektronik

Im folgenden soll zunächst die Richtungslichtschranken-Elektronik besprochen werden. *Bild 2.29a* zeigt das Prinzip. Es werden 2 Flip-Flops FF1 und FF2 aneinander geschaltet, so daß FF1 durch seinen Schaltzustand bestimmt, in welchen Zustand FF2 durch das an CK angelegte Schaltsignal kippen soll (Master-Slave-Betrieb). Der untere Teil der Schaltung in Bild 2.29a ist dann nur noch Clear-Elektronik: wenn L2 vor L1 schaltet, wird FF2 gelöscht und kann von L1 unter keinen Umständen gesetzt werden, da der CL-Anschluß bei dem verwendeten FF höhere Priorität hat, als der CK-Anschluß. FF2 kann also nur schalten, wenn zuerst L1 und dann L2 von Lo auf Hi geht.

Für die Anwendung der Richtungslichtschranke in der Wendeschleifentechnik wird die Elektronik nach Bild 2.29a zwei Mal benötigt, damit ein beidseitiges Befahren möglich ist. Bild 2.29b zeigt die Zusammenschaltung der

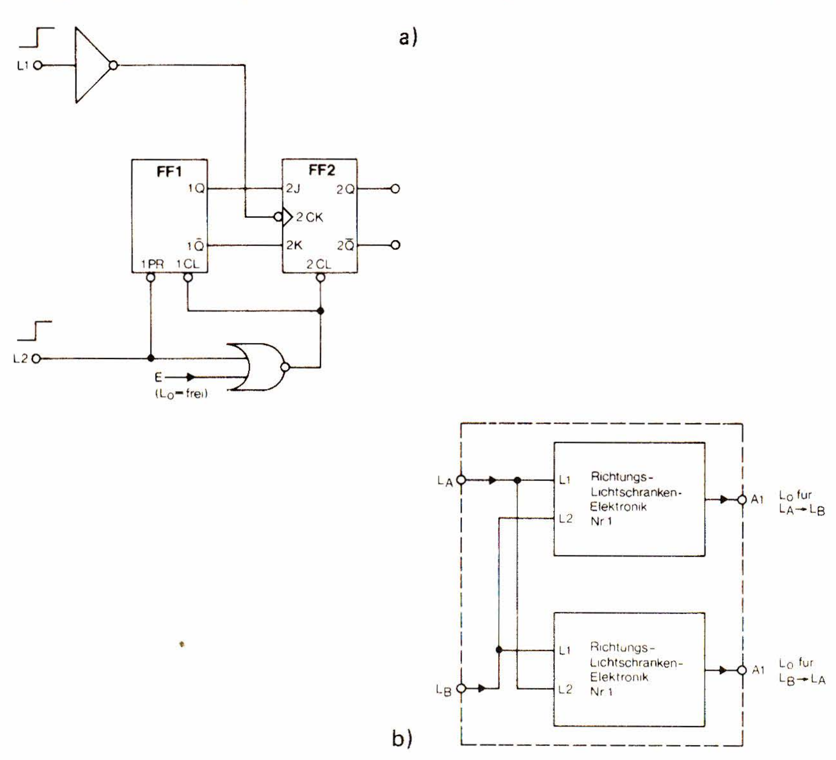


Bild 2.29: Richtungs-Lichtschranken-Elektronik mit Fremdlöschung über E: a) das Prinzip, b) die Schaltung als Doppel-Lichtschranke

beiden Elektroniken zu einem Doppel-Richtungslichtschranken-Baustein, den wir hier DRLS nennen wollen. Die Schaltung mit den einzelnen Bauteilen ist in *Bild 2.30* dargestellt.

In dieser Schaltung arbeiten die Operationsverstärker OA1, OA2 als Spannungsdiskriminatoren mit einstellbarer Ansprechschwelle. Dies ist notwendig, weil als Lichtschranken-Empfänger die Fototransistoren PT1, PT2 verwendet werden, die je nach Leuchtstärke der bestrahlenden Lichtquelle unterschiedliche Kollektor-Emitter-Spannungen liefern. Mit P1, P2 kann dann die Schaltschwelle so eingestellt werden, daß die Operationsverstärker-Ausgänge noch voll auf der negativen Maximalamplitude von ca. –4V stehen. Die Dioden D1, D2 und Widerstände R1, R2 dienen dazu, diese Spannung am Ausgang der Operationsverstärker auf etwa –0,5V zu begrenzen. Die Transistoren T1, T2 sind als Inverter geschaltet und aus Platinen-Layout-Gründen statt einer IC 7404 vorgesehen. Den Platinen-Entwurf der Schaltung Bild 2.30 zeigen *Bilder 2.31, Tabelle 9* gibt die Bauteile an.

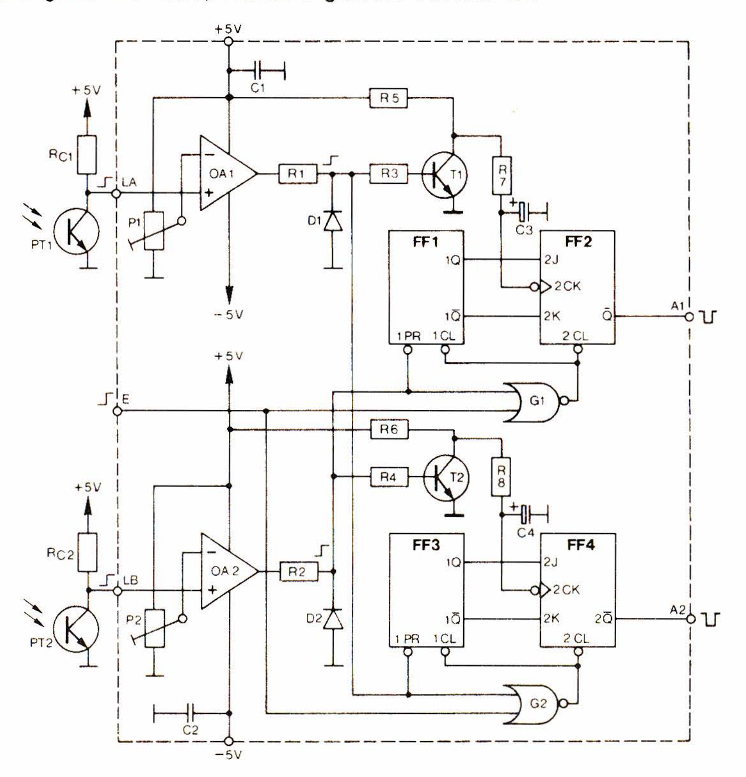


Bild 2.30: Schaltung der Doppelrichtungslichtschranke DRLS nach Bild 2.29

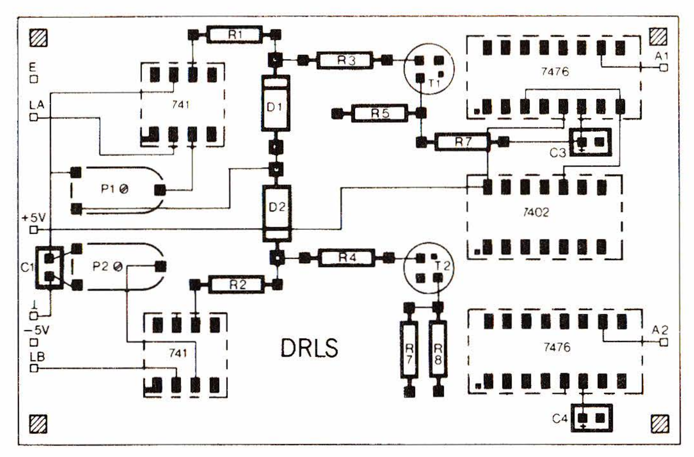


Bild 2.31.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.30

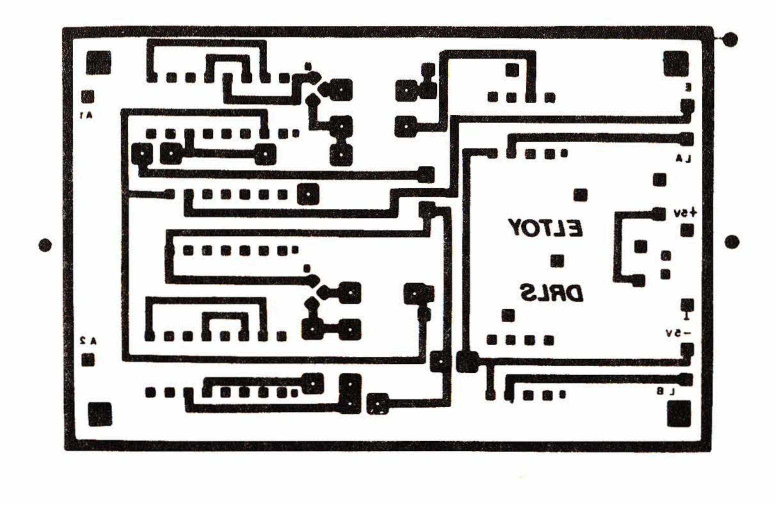
a) DRLS, Bild 2.30

T1, T2:	BC 108C
OA1, OA2:	741C, DIL oder TBA 221B
FF1 . . . FF4:	IC 7476
G1, G2:	IC 7402
R1, R2:	470Ω 0,2W
R3, R4:	33KΩ 0,2W
R5, R6:	330Ω 0,2W
R7, R8:	330Ω 0,2W
P1, P2:	Trimmpot, 10KΩ 0,2W
C1, C2:	10 . . . 100 nF Keramik
C3, C4:	4,7μF 10V Tantalelko
PT1, PT2:	BPX 81/III
R_{C1}, R_{C2}:	22 . . . 47 KΩ 0,2W

b) RLS, Bild 2.32

OA1, OA2:	741C, DIL oder TBA 221B
FF1, FF2:	IC 7476
Inv. 1, 2, 3	IC 7404
R1, R2:	470Ω 0,2W
R3:	330Ω 0,2W
R_{C1}, R_{C2}:	22 . . . 47KΩ 0,2W
P1, P2:	Trimmpot, 10KΩ 0,2W
PT1, PT2:	BPX 81/III
C1, C2:	10 . . . 100 nF Keramik
C3:	4,7μF 10V Tantalelko

Tab. 9: Bauteile Richtungslichtschranken DLRS, Bild 2.30 und RLS, Bild 2.32



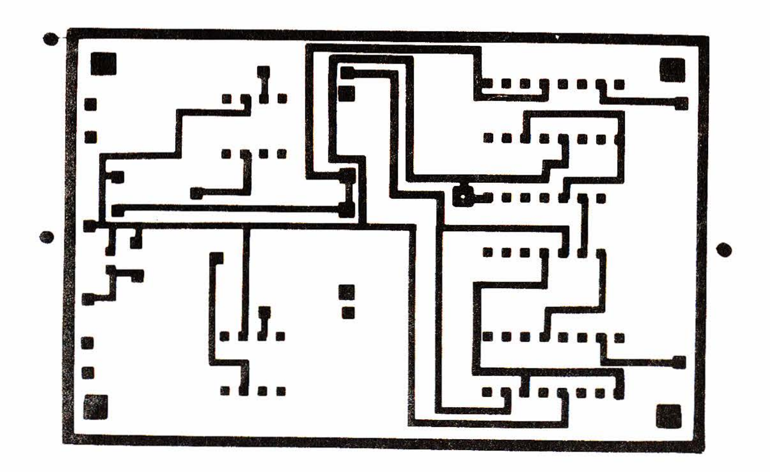


Bild 2.31.2: Platinenentwurf der DRLS-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

Nach dem Bestücken der Platine muß die Schaltung sorgfältig ausgetestet werden. P1, P2 werden dazu in Mittelstellung gebracht und E an Masse angeschlossen. Wenn nun zuerst L_A an die Versorgungsspannung von 5V angeschlossen wird, schaltet A1 von Hi auf Lo und wieder auf Hi, sowie L_B auch an die 5V gelegt wird. Umgekehrt schaltet A2 von Hi auf Lo und wieder auf Hi, wenn zuerst L_B und dann L_A an 5V gelegt wird.
Will man in Bild 2.28 den Kontakt K ebenfalls durch Lichtschranken ersetzen, so empfiehlt sich hier eine selbstlöschende Schaltung nach *Bild 2.32.* Der Ersatz des Kontaktes K durch Lichtschranken hat zwei Vorteile:

1. Die Lichtschranke kann dort angebracht werden, wo sie konstruktiv am besten untergebracht werden kann, z.B. kurz vor der Trennstelle RLS1 bzw. RLS2 in Bild 2.28. RLS1 schaltet dann, wenn der Zug von Gleis B nach Gleis A fährt, und RLS2 schaltet, wenn der Zug von Gleis A nach Gleis B fährt.
2. Durch diese Anordnung wird die über die Wendeschleife transportierte Lok-Länge größer: während die Lok in der Anordnung mit Konakt K nur von der Trennstelle 1 bzw. 2 bis Kontakt K lang sein darf (sie muß die Trennstelle verlassen haben, bevor das Relais wechselt), läßt die Anordnung mit RLS1/2 Loks mit der Länge von Trennstelle 1 bis RLS2 (bzw. Trennstelle 2 bis RLS1) zu. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn man Züge mit Loks am Anfang und Ende über die Wendeschleife transportieren will.

Konstruktive Ausführungsformen der Lichtschranken selbst finden sich im praktischen Teil, da im Handel keine Gabellichtschranken mit Spannweiten von einigen Zentimetern zwischen Sender und Empfänger erhältlich sind, und der Modellbahnbauer hier voll auf seine eigene manuelle Geschicklichkeit angewiesen ist. Den Platinenentwurf der Schaltung nach Bild 2.32 zeigen *Bilder 2.33,* die Bauteile sind ebenfalls aus Tabelle 9 zu entnehmen.

Bemerkung:
Die Lichtschrankenempfänger müssen in ein absolut dunkles Gehäuse eingebaut werden, so daß nur durch die Frontlinse Licht eintreten kann. Konstruktive Ausführung: siehe Abschnitt 3.4.1

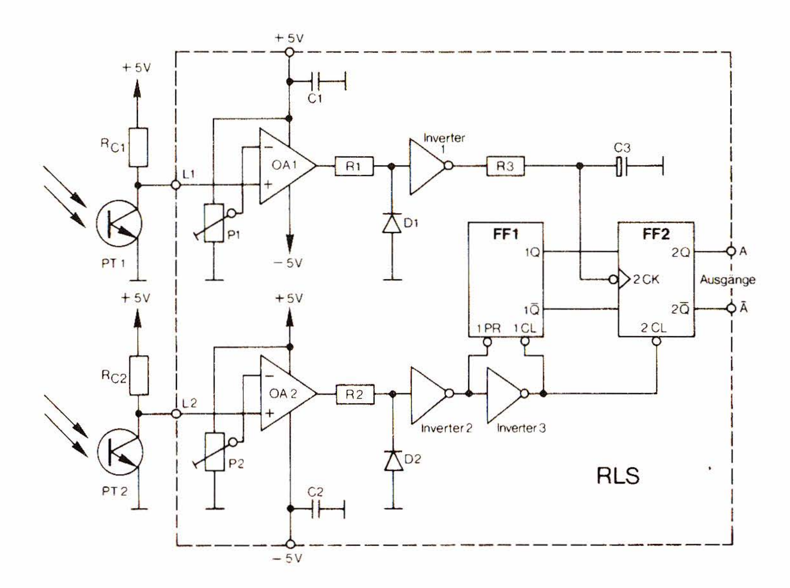


Bild 2.32: Schaltung einer selbstlöschenden Richtungslichtschranke RLS

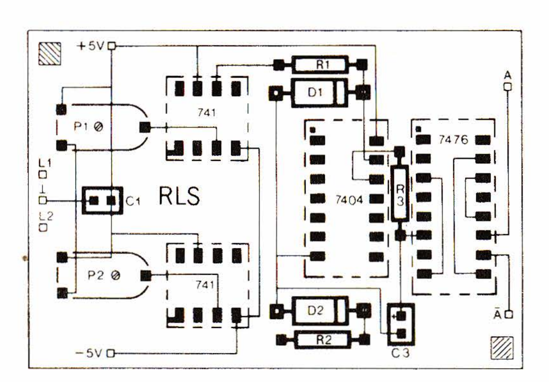


Bild 2.33.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.32

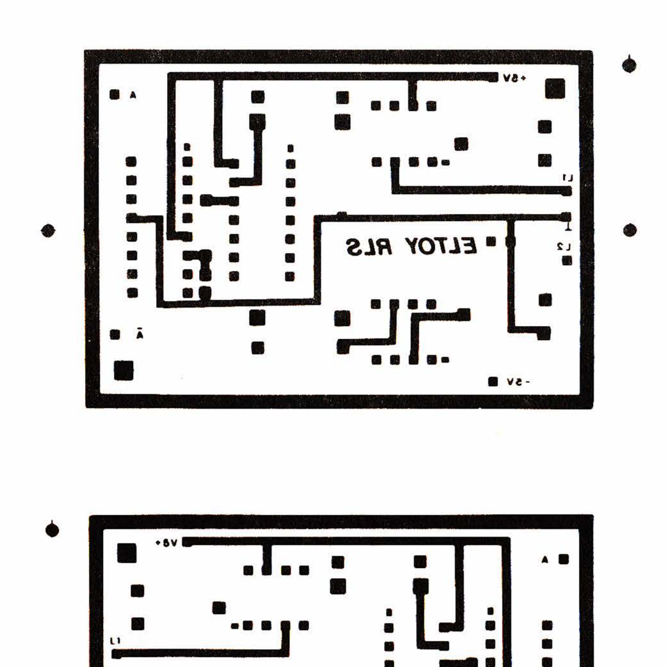


Bild 2.33.2: Platinenentwurf der RLS-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

2.6.2 Logik-Relais

Die Richtungs-Lichtschranken-Elektronik gibt ihre Ausgangssignale an das Logikrelais LRL ab. *Bild 2.34* zeigt die Schaltung des LRL. Kernstück dieser Anordnung sind wieder zwei Flip-Flops im Master-Slave-Betrieb, wie wir sie bereits bei der Richtungslichtschrankenschaltung kennengelernt haben. Der einzige Unterschied ist eine Vertauschung der Ausgänge: 1Q geht an 2K und 1$\overline{Q}$ an 2J. Dadurch bewirkt ein an 2CK angelegter Übergang nach Masse stets ein Wechseln des Ausgangszustands von FF2.

Die Eingänge Preset (1PR/2PR) und Clear (1CL/2CL) müssen über Monoflops angesteuert werden, damit der Ausgangszustand von FF2 auch dann gewechselt werden kann, wenn noch ein Lo-Signal am PR- oder CL-Eingang anliegen sollte. Die R1/C1-Siebglieder an den Steuereingängen verhindern ein Ansprechen des Logik-Relais LRL auf Störspitzen, was sich bei der hier verwendeten statischen Logik sehr leicht realisieren läßt. Das von Ausgang A anzusteuernde Relais befindet sich auf einer getrennten Platine und ist in Abschnitt 2.8 beschrieben.

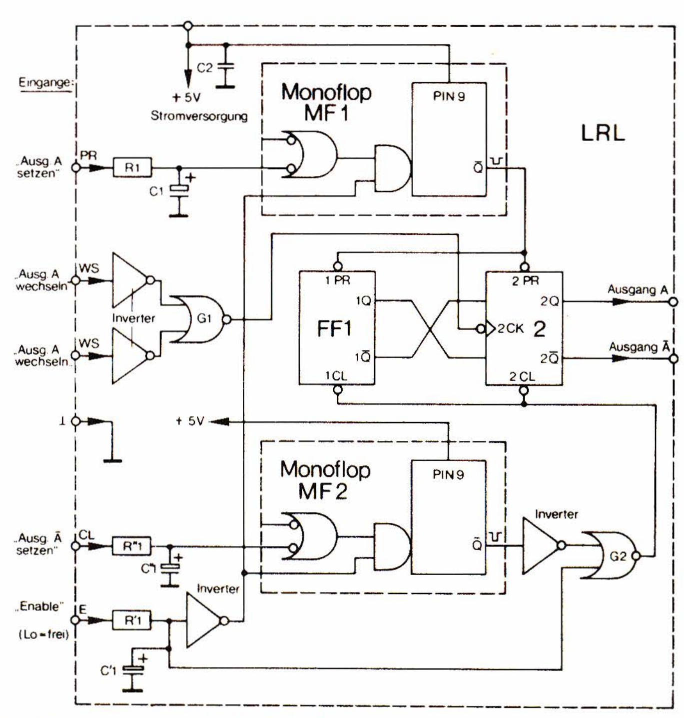


Bild 2.34: Schaltung des Logik-Relais LRL

Auch die LRL-Platine ist nach der Bestückung sorgfältig zu testen. Nach Anschließen der Betriebsspannung von +5V und dem Anlegen von Masse an E muß der Ausgang A auf Hi gehen, wenn PR an Masse gelegt wird; A muß wieder Lo werden, wenn einer der beiden WS-Eingänge an Masse gelegt wird. Umgekehrt muß $\bar{A}$ auf Hi gehen, wenn CL vorher an Masse war und WS an Masse gelegt wird. Die Bauteile sind in *Tabelle 10* angegeben, den Platinenentwurf zeigen *Bilder 2.35.*

FF1, FF2:	IC 7476
Monoflops 1, 2:	je 1 IC 74121
G1, G2:	IC 7402
Inverter:	IC 7404
R1, R'1, R"1:	330Ω
C1, C'1, C"1:	10µF/6V Tantalelko
C2:	10 . . . 100nF, Keramik

Tab. 10: Bauteile Logik-Relais LRL, Bild 2.34

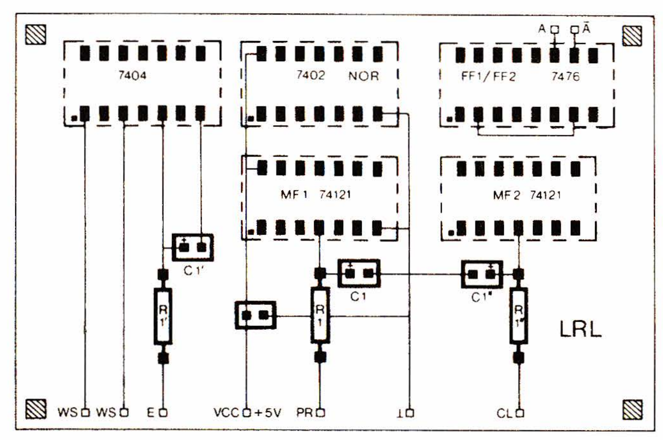


Bild 2.35.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.34

Die hier beschriebene Wendeschleifen-Technik erfüllt alle nur denkbaren Anforderungen und arbeitet in der Praxis sehr zuverlässig. Sie läßt sich beidseitig befahren und ermöglicht einen eindeutigen programmierbaren Betrieb. In Bild 2.28 ist mit Hilfe des Vorprogramm-Bausteins VP ein Setzen der Weichen nur möglich, wenn die Wendeschleife auch wirklich befahrbar ist. Dieser Zustand wird zugleich über die Signale zur Einfahrt in die Wendeschleife angezeigt. Die übrige Elektronik dient nur noch zum einwandfreien Transport des Zuges über die Wendeschleife hinweg auf das Nachbargleis.

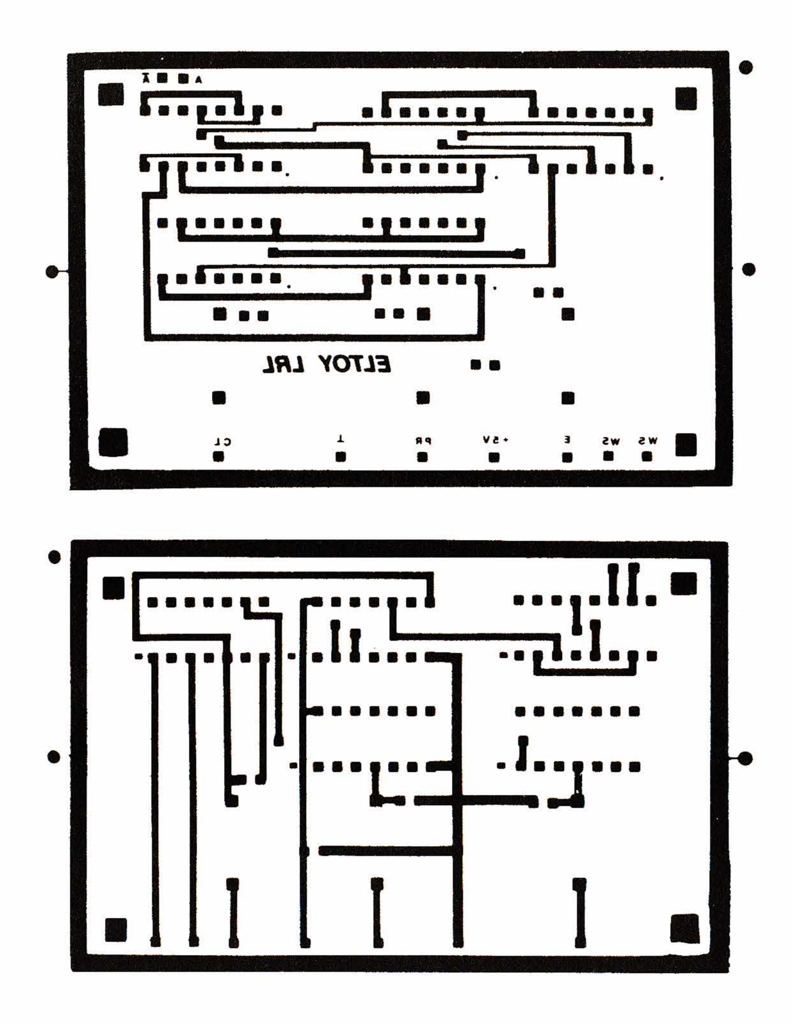


Bild 2.35.2: Platinenentwurf der LRL-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

2.7 Elektronik im Bahnhofsbereich

Dieser letzte Abschnitt über die Elektronikbausteine am Gleis befaßt sich mit einer Schaltungstechnik, wie sie vor allem im Bahnhofsbereich verlangt wird. Hier besteht die Forderung, daß nur diejenigen Weichenverbindungen durchgeschaltet werden, die zu befahrbaren Gleisstücken führen. Außerdem müssen diese Gleisstücke mit einer entsprechenden Signaltechnik angezeigt werden.

2.7.1 Kreuzungsübergang im Bahnhofsbereich

Zunächst soll das Problem eines Kreuzungsüberganges im Bahnhofsbereich betrachtet werden. *Bild 2.36* zeigt die Anordnung. Es wird keine neue Elektronik-Baugruppe benötigt, vielmehr kommt man für die Lösung dieses Problems mit den bisher besprochenen Bausteinen RF, VP, WIF aus. Ausgangspunkt der Anordnung ist eine Eigenschaft der Kreuzungsweiche X: sie ist so konstruiert, daß beim Überfahren zwischen Gleis A und Gleis C auf der Kreuzungsweiche X das Potential des Gleises B herrscht. Es werden zwei Fahrgeräte vorgesehen, die an die Gleise B und C angeschlossen werden. Zwischen diesen Gleisen muß auch der Richtungsfühler RF angeschlossen sein. Das Gleis A wird mit Hilfe eines Relaiskontaktes r über ein Elektronik-Relais an Gleis B angeschaltet, sobald das Weicheninterface WIF A/C gesetzt werden kann, d.h. das Relais wird vom Ausgang A des WIF A/C gespeist. Mit dieser Anordnung wird das Gleis A zum Bahnhofsgleis, von dem aus man je nach Fahrtrichtungsprogramm zwischen Gleis B und C in den Gleisbereich ausfahren kann. Das Weicheninterface X wird nur für den Fall freigegeben, daß das Weicheninterface A/C gesetzt wurde. Mit dieser Anordnung ist jeder Fehlbetrieb bei einem Kreuzungsweichenübergang ausgeschlossen.
Den befahrbaren Zustand zeigen die Signale A und B an. Während Signal A direkt an den Richtungsfühler RF angeschlossen ist, wird Signal B erst auf Grün (Steuersignal Lo) geschaltet, wenn Relaiskontakt r geschlossen ist. Hierzu dient der Ausgang $\overline{A}$ des Relais ERL1. Das passende Elektronik-Relais ERL1 wird in Abschnitt 2.8 beschrieben.

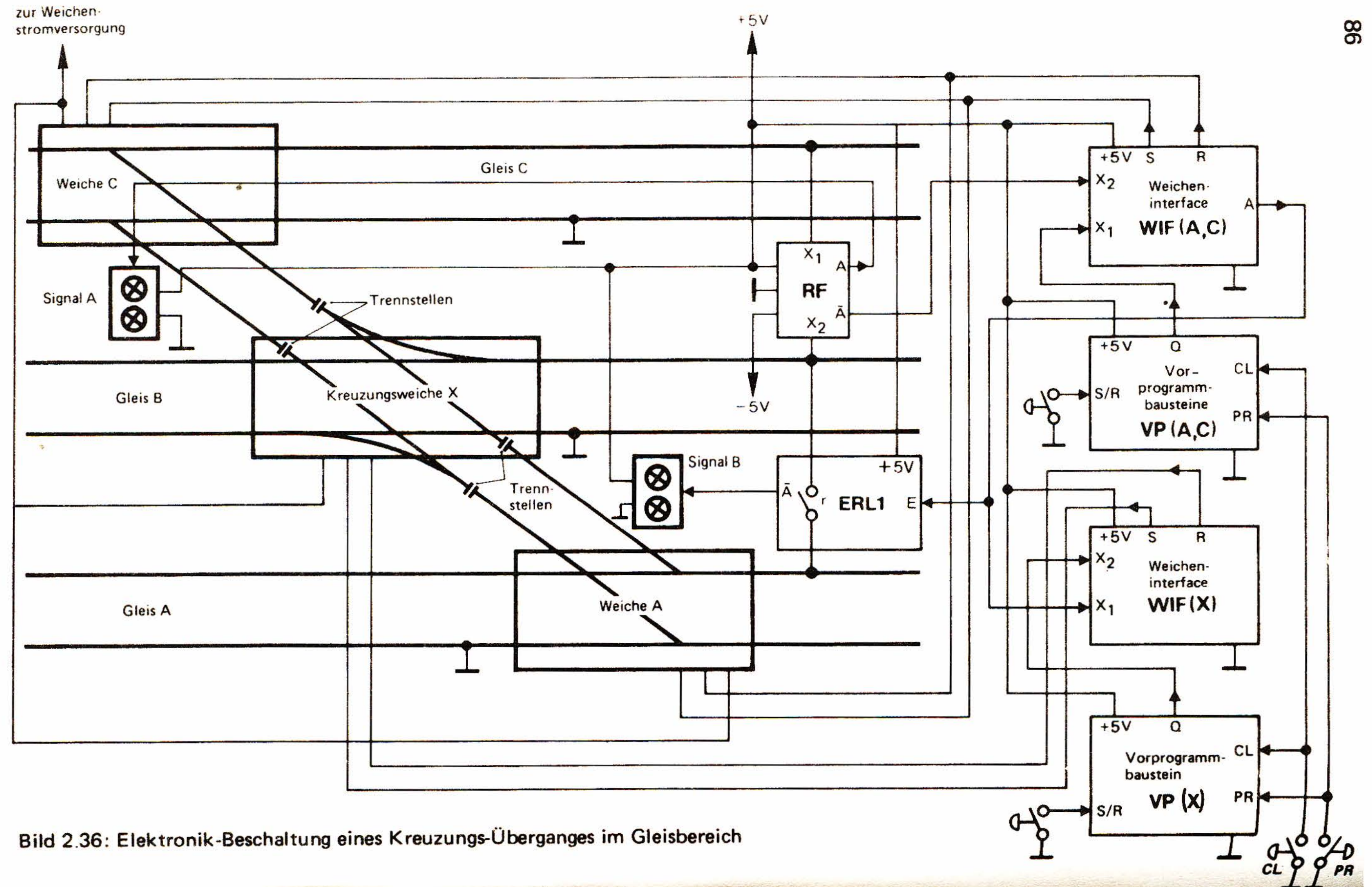


Bild 2.36: Elektronik-Beschaltung eines Kreuzungs-Überganges im Gleisbereich

2.7.2 Bahnhofselektronik mit Kreuzungs- und tangentialer Einmündung

Eine Anordnung nach Bild 2.36 im Bahnhofsbereich hat den Nachteil, daß vom Bahnhofsgleis A nur ausgefahren werden kann, wenn die Gleise B und C auf dieselben Fahrtrichtungen vorprogrammiert sind. Für den Fall ungleicher Fahrtrichtung wäre noch die Ausfahrt auf Gleis B allein denkbar. Dies muß jedoch über eine getrennte Weichenverbindung erfolgen, da ein Abzweigen über Kreuzungsweiche X einen auf Gleis B bereits befindlichen Zug über diese Kreuzungsweiche X auf die obere, nicht überfahrbare Trennstelle transportieren würde. Bei ungleichen Fahrtrichtungen zwischen Gleis B und C ist es daher besser, die Weichen A und C ganz zu sperren und über eine getrennte Weichenverbindung in das Gleis B einzufahren.
Dieser Fall ist in der Anordnung nach *Bild 2.37* vorgesehen. Es zeigt links die Kreuzungsweichen-Einmündung und rechts eine normale Einmündung über ein weiteres Weichenpaar. Zum Betrieb dieser Anlage wird nun jedoch eine besondere Bahnhofselektronik BHE benötigt, die nachfolgend beschrieben werden soll. Diese Bahnhofselektronik ersetzt die beiden Vorprogrammbausteine VP aus Bild 2.36 und enthält zusätzlich Clear-Eingänge. Diese können dazu benutzt werden, immer nur ein Gleis freizugeben, nämlich das, welches zuletzt programmiert wurde. Das Setzen einer Bahnhofselektronik BHE (x) kann alle anderen Bahnhofselektroniken BHE(n) über die Clear-Eingänge löschen.
Bild 2.38 zeigt die Schaltung. Es werden zwei Flip-Flops über die Preset- und Clear-Eingänge angesteuert, wobei beide Q-Ausgänge über Dioden D1/D'1 zu einer ODER-Schaltung verknüpft werden, um das Relais Rel über T2 anzusteuern. Dieses Relais zieht also an, wenn eines der beiden Flip-Flops oder beide gesetzt sind. Mit dem Relaiskontakt r schaltet man das Bahnhofsgleis A in Bild 2.37 an die Fahrstrecke 1.
Entscheidend sind die sechs Clear-Eingänge der beiden Gatter G1/G'1. CL1 und CL5 dienen zu einem handbedienten Einzelrücksetzen der beiden Flip-Flops; CL2 und CL6 können an Richtungsfühler angeschlossen werden, so daß Kreuzungseinmündungen entsprechend Bild 2.37 verschaltet werden können. CL3 und CL4 sind zwischen beiden Gattern durchverbunden und bewirken ein gleichzeitiges Rücksetzen beider Flip-Flops. Ein Clear-Eingang wird an das allgemeine Clear der Modellbahn-Elektronik angeschlossen, ein anderer an den Ausgang $\bar{A}$ zum Rücksetzen durch die Nachbar-BHE. Mit dieser Anordnung lassen sich also zwei Bahnhofsgleise gegenseitig verriegeln. Ausgang A wird herangezogen, um ein automatisches Steuern der Weichen-Interfaces WIF zu bewirken, wie in Bild 2.37 gezeigt. Ferner sind LED-Treiber-Transistoren T1 und T2 vorgesehen, mit denen die

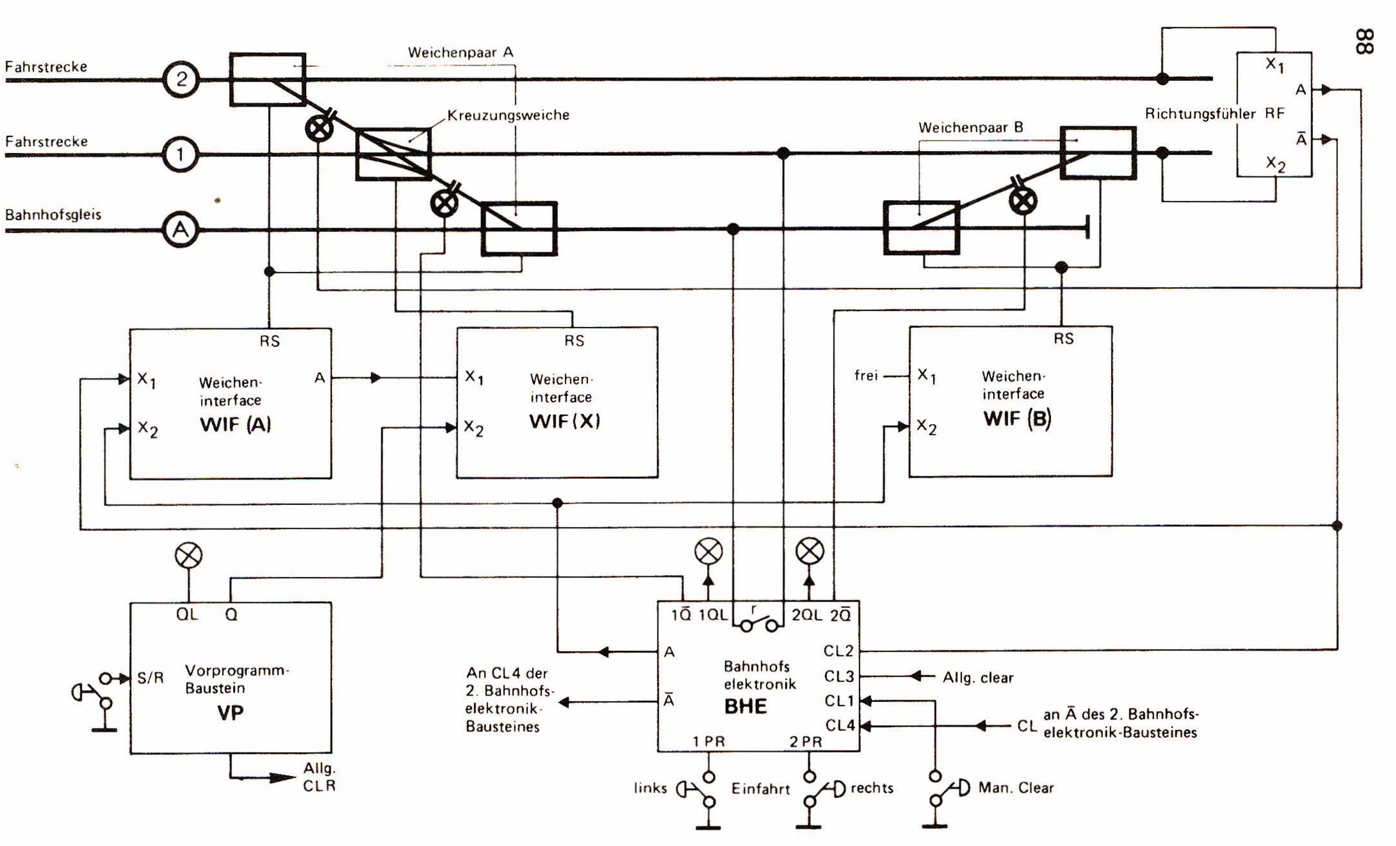
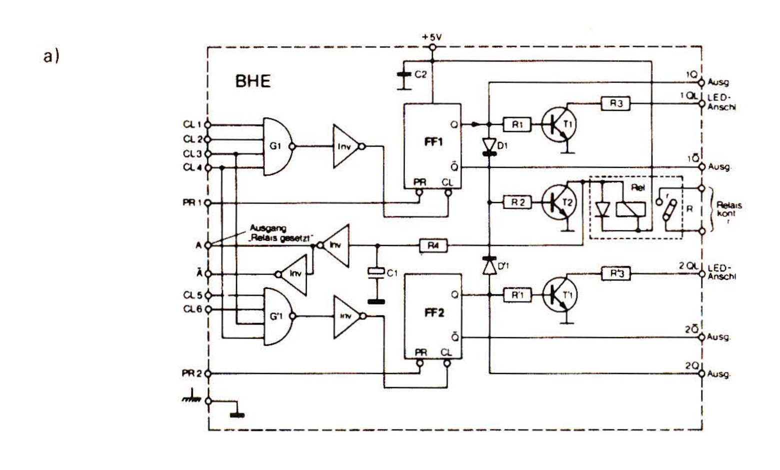


Bild 2.37: Elektronik-Beschaltung einer Gleisanordnung im Bahnhofsbereich.

Flip-Flop-Zustände in einem Gleisbildstellwerk angezeigt werden können. Die Signale im Bahnhofsbereich werden mit den Ausgängen $\overline{Q}1/\overline{Q}2$ angesteuert.

Wenn mehr als zwei Bahnhöfe mit dieser Elektronik gesteuert werden sollen, müssen noch mehr Clear-Eingänge vorgesehen werden. Das geschieht am besten dadurch, daß extern eine der beiden Clear-Erweiterungs-Schaltungen aus Bild 38b oder c angeschlossen wird. Der intervertierte Ausgang $\overline{A}$ wird an CL3 oder CL4 der BHE angeschlossen. Damit kann dieser Clear-Eingang auf 4 bzw. 8 Eingänge erweitert werden, so daß weitere 4 oder 8 zusätzliche Bahnhofselektroniken angeschlossen werden können. Mit dieser Standard-Ausführung der BHE aus Bild 2.38 können 2 Bahnhöfe nach Bild 2.37 gesteuert werden, wobei jeder Bahnhof seine eigene BHE braucht. Mit der Vierfach-Erweiterung sind 5 Bahnhöfe nach Bild 2.37 schaltbar und mit der

a)



b)

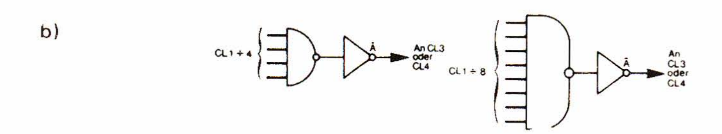


Bild 2.38: Schaltung der im Bild 2.37 verwendeten Bahnhofs-Elektronik BHE

Achtfach-Erweiterung insgesamt 9, wobei jeder Bahnhof wiederum seine eigene BHE braucht. Diese Technik läßt in der Gestaltungsmöglichkeit keine Wünsche offen. Erreicht wird dies durch einen kleinen Trick: obwohl G1 eine UND-Schaltung mit 4 . . . 8 Eingängen und invertierendem Ausgang ist, kann sie auch als ODER eingesetzt werden, wenn negative Logik verwendet wird. Negative Logik bedeutet, daß der Übergang von Hi nach Lo ein Ändern der Schaltzustände bewirkt. Bei G1 sind in der Ruhestellung alle Clear-Eingänge Hi; das bewirkt ein Lo am Ausgang von G1, so daß das FF-CL über den Inverter freigegeben wird. Wird einer der Clear-Eingänge an Masse gelegt, so wird das FF-Clear ebenfalls an Masse gelegt, und das FF gesperrt. Dies ermöglicht uns zugleich eine Automatik; ist ein FF z.B. vom Richtungsfühler über ein Clear gesperrt, so kann ein momentanes Betätigen der PRESET-Taste das betreffende FF nicht dauernd setzen, es springt vielmehr nach Loslassen der PRESET-Taste wieder zurück. Damit läßt sich eines der wichtigsten Ziele der BHE verwirklichen: nicht passierbare oder nicht gewünschte Verbindungen im Bahnhofsbereich kommen nicht zustande.
Den Platinenentwurf der BHE-Schaltung aus Bild 2.38a zeigen *Bilder 2.39.* Clear-Erweiterung sind auf getrennten Zusatzplatinen aufzubauen, wenn sie

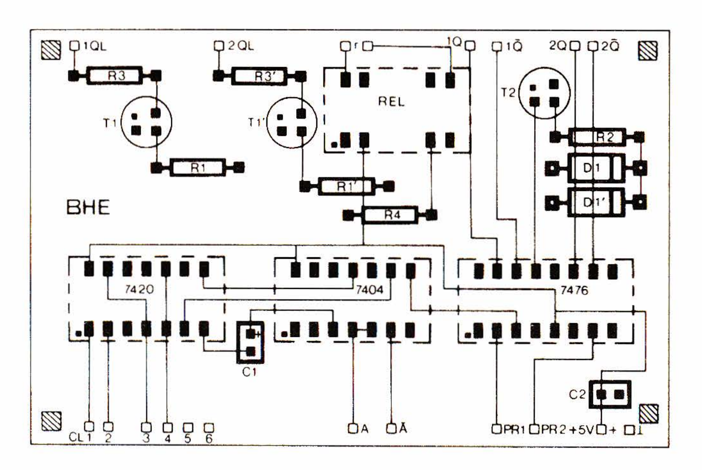
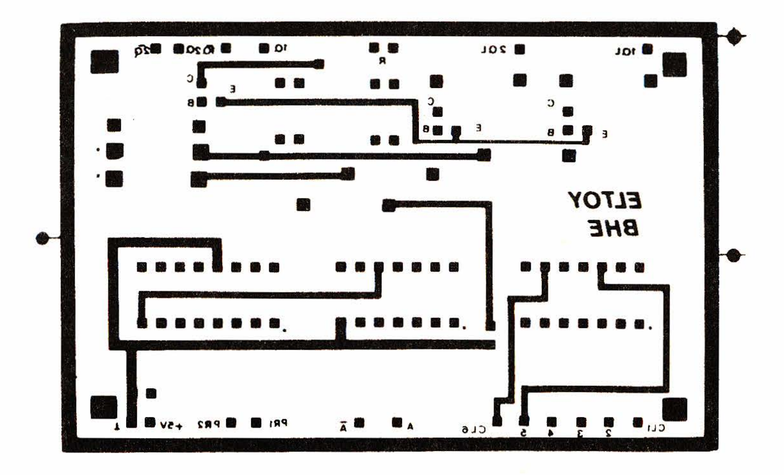


Bild 2.39.1: Bauteile-Anordnung der Schaltung nach Bild 2.38

benötigt werden. Die Bauteile sind in *Tabelle 11* angegeben. Für 4 Bahnhöfe werden 4 BHE-Bausteine und 4 Clear-Erweiterungen benötigt, d.h. es sind 2 IC's 7420 und 1 IC 7404 notwendig, wobei im IC 7404 nur 4 Inverter



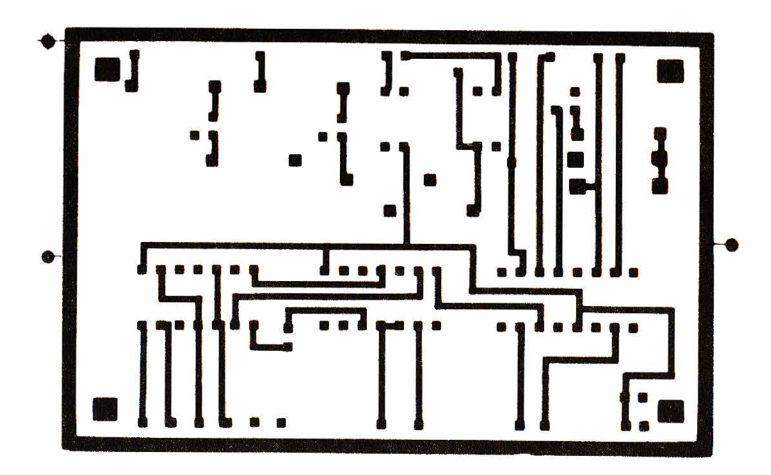


Bild 2.39.2: Platinenentwurf der BHE-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

verwendet werden (2 bleiben frei). Für 6 Bahnhöfe sollte man bereits 6IC's 7430 verwenden, wobei 1 IC 7404 dann voll ausgenutzt werden kann, da es 6 Inverter enthält. Bei 8 Bahnhöfen müssen dann 2 IC's 7404 eingesetzt werden. Es kann jedoch auch vorteilhaft sein, für jeden Clear-Erweiterungsbaustein ein eigenes Inverter-IC vorzusehen, da sich dann ein besseres Verdrahtungsschema mit kürzeren Zuleitungen ergeben kann. Aus diesen Gründen wird der BHE-Baustein standardmäßig nur mit 6 Clear-Eingängen vorgesehen, die für 2 Bahnhöfe ausreichen; für die Clear-Erweiterung wird kein Platinenentwurf angegeben, da diese für jede Anlage anders sein kann.

a) Grundschaltung

FF1, FF2:	IC 7476
G1, G'1:	IC 7420
Inv.:	IC 7404
R1, R'1:	10KΩ/0,2W
R2:	33KΩ/0,2W
R3, R'3:	100 . . . 330Ω, je nach LED
R4:	330Ω/0,2W
C1:	10μF/6V Tantalelko
T1, T'1, T2:	BC108C
D1, D'1:	1N4148
Rel:	Hamlin Reed Relais HE721A mit Freilauf-Diode; bei Verwendung eines anderen Relais muß evtl. R2 geändert werden

b) Clear-Erweiterungsschaltung auf 4 Clear-Eingänge
UND-Gatter 7420, Inverter 7404

c) Clear-Erweiterungsschaltung auf 8 Clear-Eingänge
UND-Gatter 7430, Inverter 7404

Tab. 11: Bauteile Bahnhofselektronik BHE, Bild 2.38

2.8 Elektronische Relais

Die im vorstehenden Abschnitt beschriebene Bahnhofselektronik BHE enthält bereits ein einpoliges Relais, das auch einen Ausgang „Relais gesetzt" enthält. Dieses Relais wird auch für einzelne Stichgleise benötigt und deshalb als ERL 1 *(Bild 2.40a)* auf einer separaten Platine 2.41.1 aufgebaut. Als Relais wird ein einpoliger Schließer in Reed-Relais-Ausführung verwendet, so daß trotz 0,5A Kontaktbelastbarkeit sehr kleine Abmessungen ermöglicht werden.

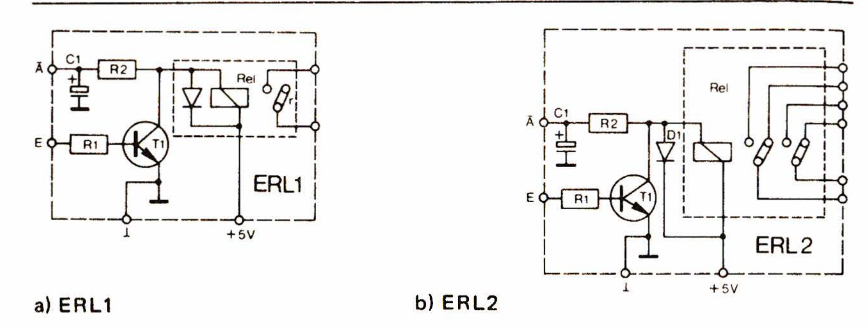


Bild 2.40: Schaltung elektronischer Relais ERL1 und ERL2

Von der Schaltung Bild 2.34 wird ein zweipoliges Umschaltrelais ERL2 angesteuert, dessen Schaltung in Bild *2.40b* gezeigt ist. Es wird ebenfalls auf einer separaten Platine (Bild 2.41.3) aufgebaut, da dieses Relais auch noch für andere Zwecke im Modellbahnbereich verwendet werden kann (z.B. zum paarweisen Umschalten der Fahrgeräte-Anschlüsse an die Fahrstrecken, vgl. 3. Kapitel).

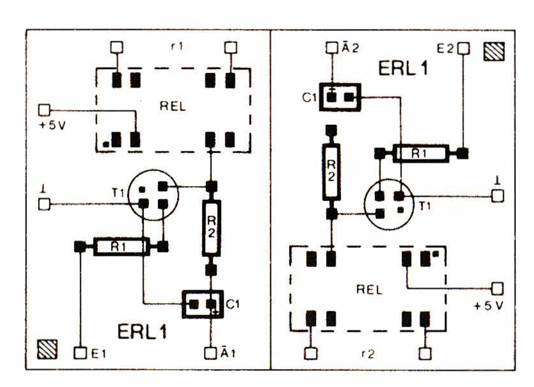
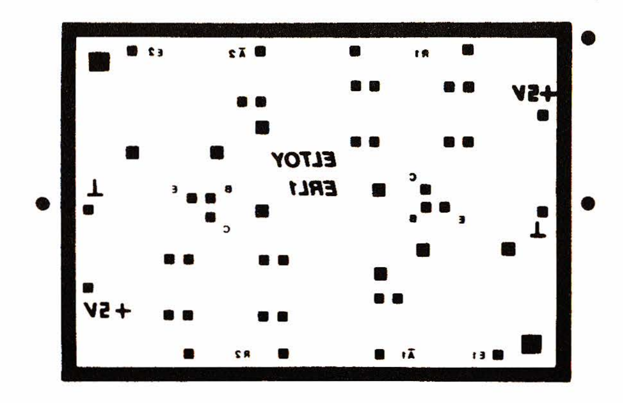


Bild 2.41.1 Bauteile-Anordnung des ERL1



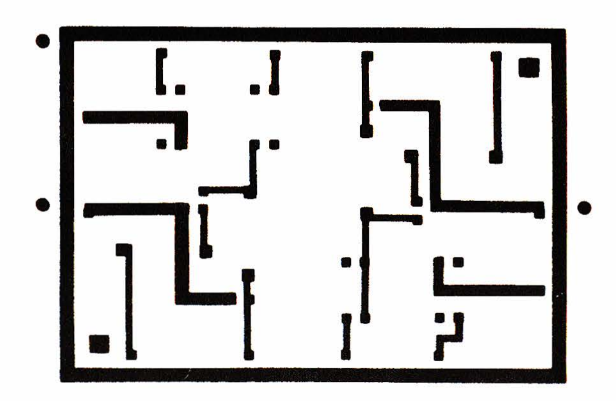
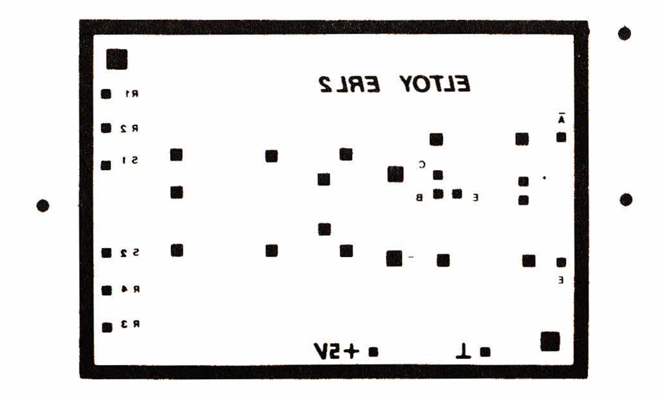


Bild 2.41.2: Leitungsführung der ERL1-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite



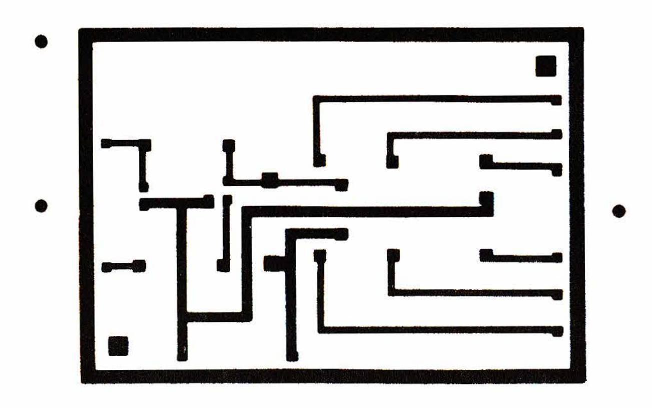


Bild 2.41.3: Leitungsführung der E R L 2-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

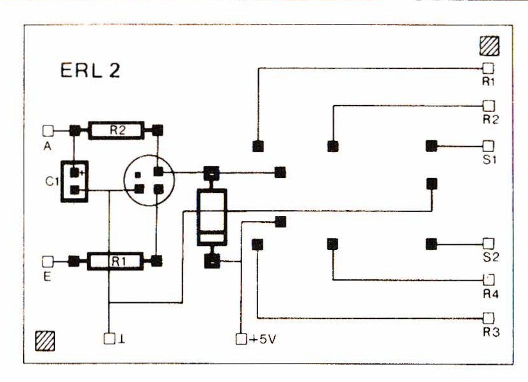


Bild 2.41.4 Bauteile-Anordnung des ERL2

Auch dieses Relais enthält einen invertierten Ausgang $\overline{A}$, der Lo wird, wenn das Relais angezogen ist. Die Bauteile-Angaben für beide Relais gehen aus *Tabelle 12* hervor.

a) *ERL 1*

R1:	33KΩ/)0,2W
T1:	BC108C
R2:	330Ω/0,2W
C1:	10μF/6V Tantalelko
Rel:	Hamlin Reed Relais HE721A mit Freilaufdiode; bei Verwendung eines anderen Relais muß evtl. R1 geändert werden.

b) *ERL2*

R1:	5,6KΩ/0,2W
T1:	330Ω/0,2W
C1:	10μF/6V Tantalelkos
D1:	1N4148
Rel:	Siemens Kartenrelais NV23012 5V/80Ω

Tab. 12: Bauteile Elektronik-Relais, ERL 1 und ERL 2, Bild 2.40a, b

2.9 Übersicht über die Anwendungen, Eigenschaften und Vorteile der bisher beschriebenen Elektronik-Bausteine für Modellbahnen

Der folgende Abschnitt bringt eine Übersicht über die im 2. Kapitel beschriebenen Elektronik-Bausteine. Nachdem bisher bei der Elektronik im Gleisbereich aus Gründen der Anschlußtechnik die Elektronik und die Gleise im selben Bild untergebracht werden mußten, soll dies hier entfallen, damit die Anordnungen übersichtlicher werden. Außerdem werden die Stromversorgungs- und Masseleitungen weggelassen. Dieser Abschnitt ist dann zugleich eine Überleitung zum nächsten Kapitel, das am Beispiel einer Modellbahn-Anlage für zwei Spielpartner nur noch von dieser Darstellung Gebrauch macht. Ein weiterer Zweck dieses Kapitels ist außerdem eine Zusammenstellung der Eigenschaften und Vorteile, die dieses modulare Elektronik-Baustein-Konzept für den Modellbahner bringt.

2.9.1 Fahrgeräte und Stromversorgungen

Bild 2.42 zeigt unter a) noch einmal das Blockschaltbild der Fahrgeräte-Technik, die im Abschnitt 2.2 im Detail beschrieben wurde. Dabei ergeben sich folgende Vorteile:

1. Der modulare Aufbau sichert die Erweiterungsmöglichkeit und den Ausbau bis zur Computer-Steuerung.
2. Die kurzschlußsicheren und überspannungsfesten Leistungsstufen PVM und NVM führen zu hoher Betriebssicherheit.
3. Der kleine Ausgangs-Widerstand von $< 1\Omega$ sichert eine von der Belastung unabhängige Ausgangsspannung.
4. Alle gebräuchlichen Standard-Modellbahnen, die entweder mit Gleichstrom-Motoren oder Allstrom-Motoren mit Umsteuerung nach dem Überspannungsprinzip arbeiten, können mit diesem Bausteinkonzept betrieben werden.

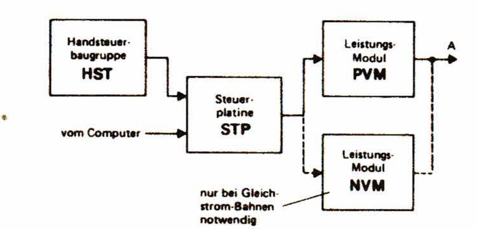


Bild 2.42: Kombinationsmöglichkeiten der Leistungselektronik-Bausteine: a) Programmierbares Fahrgerät,

5. Der Handsteuer-Baustein HST sieht eine neuartige Schaltungstechnik vor, die mit geringem Aufwand einen kontinuierlichen Übergang von Halb- auf Vollwellenbetrieb ermöglicht.
6. Die Bausteine sind so ausgelegt, daß eine beliebige Anzahl von Fahrgeräten an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen werden kann, wobei nur ein einziger Netztrafo nötig ist.

Bild 2.42b zeigt das Blockschaltbild des Stromversorgungsgerätes für programmierbare Modellbahnen. Auch hier ergeben sich gegenüber bisherigen Anordnungen wesentliche Vorteile:

1. Verwendung der gleichen Leistungsmodule mit denselben ausgezeichneten Eigenschaften und Vorteilen.

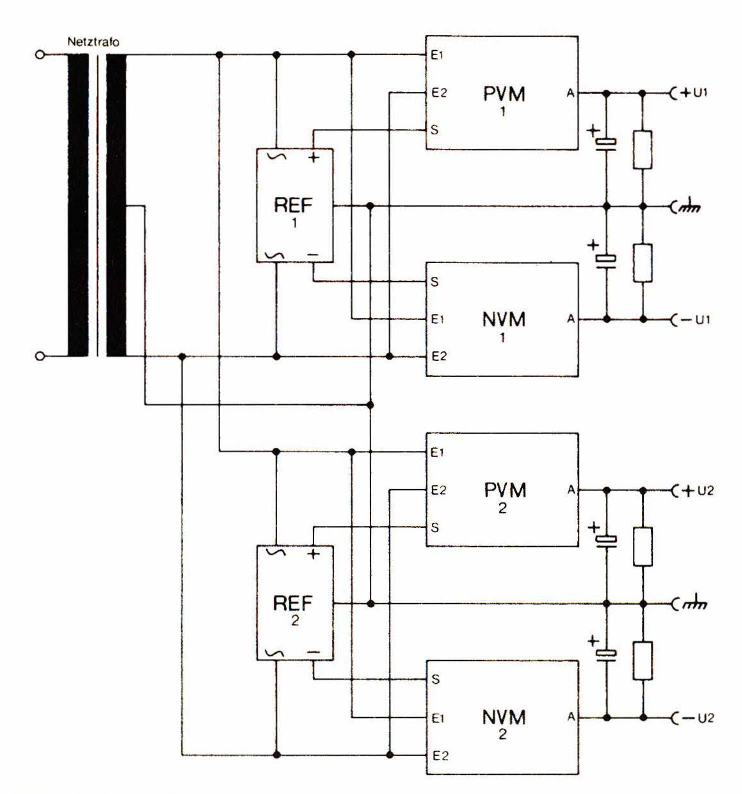


Bild 2.42b: Mehrfach-Stromversorgung

2. Durch die Überspannungs-Schutzschaltung kann der Ladeelko entfallen. Es genügt ein Siebelko am Ausgang, dessen Ladestrom durch die Strombegrenzungsschaltung der PVM/NVM-Bausteine begrenzt wird, so daß die Gleichrichter-Dioden beim Einschalten nicht überlastet werden können.
3. Die Modultechnik erlaubt es, beliebig viele Spannungen aus einem einzigen Netztrafo abzuleiten. Erst bei großen Spannungsunterschieden mit erheblichen Leistungen sind aus Kühlungsgründen getrennte Trafos und Leistungsmodule vorzusehen.
4. Die Stromversorgung ist nicht nur gegen Kurzschluß nach Masse, sondern auch bei versehentlichem Verbinden des positiven mit dem negativen Ausgang geschützt.

Die Eigenschaften dieser Leistungselektronik ergeben eine Vielseitigkeit im Einsatz und eine Betriebssicherheit, die von keinem bisher bekannten Baustein-System erreicht wird.

2.9.2 Elektronik-Bausteine zur Steuerung von Weichenverbindungen im Gleisbereich

Die in den Abschnitten 2.4, 2.5 und 2.6 beschriebenen Schaltungen zur Steuerung von Weichenverbindungen im Gleisbereich sind in *Bild 2.43* schematisch zusammengefaßt. Auch hier sind aus Gründen der Übersichtlichkeit die Versorgungsspannungen weggelassen und nur die Signalleitungen gezeichnet. Man kann die Aufgabe der Elektronik-Bausteine auch so sehen, daß sie dazu dienen, die Gleismechanik in ein Elektronik-Netzwerk umzusetzen, das an den Computer anschließbar ist. Dieses Umsetzen wird im 3. Kapitel noch in einer Konzept-Syntax für programmierbare Modellbahn-Systeme dargestellt. Aber auch für den „normalen" Modellbahner, der seine Anlage frei von Betriebsproblemen aufbauen will, ergeben sich eine Fülle von Vorteilen, die nachfolgend zusammengefaßt sind:

1. Die Richtungsfühler-Logik erlaubt die Trennung der überfahrbaren von den nicht überfahrbaren Verbindungen, so daß das Steckenbleiben an Trennstellen oder Zusammenstöße vermieden werden.
2. Die Vorprogrammtechnik gestattet die Vorwahl der gewünschten Weichenverbindungen, die automatisch dann durchgeschaltet werden, wenn sie überfahrbar sind.
3. Die Richtungslichtschrankentechnik erlaubt die Steuerung von Fahrverbindungen nicht nur relativ zu den Richtungen zweier benachbarter Züge, sondern auch die Steuerung von der absoluten Fahrtrichtung eines einzi-

gen Zuges. Damit wird eine perfekte Wendeschleifentechnik ermöglicht.
4. Die eigens für die Modellbahntechnik entwickelten Gabellichtschranken sind mit Serien-LED's bestückt und lassen sich auch nachträglich am Gleis anbauen und justieren.

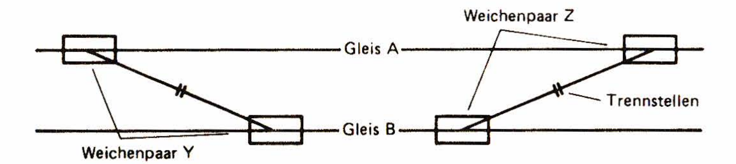
Diese Schaltungstechnik schafft das perfekte Gleisnetzwerk, das Fehlschaltungen automatisch verhindert und voll mit einem Mikrocomputer gesteuert werden kann.

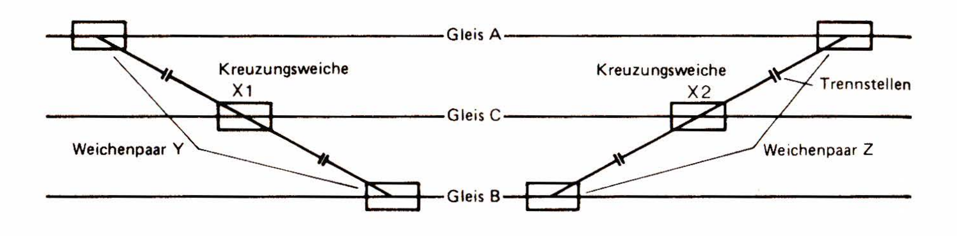
2.9.3 Elektronik-Bausteine zur Steuerung der Bahnhofsgleise

Die in Abschnitt 2.7 beschriebene Elektronik für den Bahnhofsbereich ist in *Bild 2.44* zusammengefaßt. Auch hier sind wieder aus Gründen der Übersichtlichkeit die Versorgungsspannungen weggelassen und nur die Signalleitungen gezeichnet. Für den praktischen Betrieb ergeben sich folgende entscheidende Vorteile:

1. Unpassierbare Verbindungen im Bahnhofsbereich werden nicht gesetzt, d.h. die Weichen werden nicht geschaltet und die Fahrspannung nicht angeschlossen.
2. Die Bahn-Signaltechnik im Bahnhofsbereich ist so gestaltet, daß Hauptsignale verwendet werden können, die automatisch auf Rot stehen. wenn die betreffende Strecke nicht passierbar ist.
3. Die Bahnhofselektronik liefert zugleich auch noch alle Steuerspannungen für den Anschluß eines Gleisbildstellwerkes.
4. Eine ausgeklügelte Clear-Technik erlaubt die Anreihung von maximal 9 Gleisen in Harfenanordnung, so daß Schattenbahnhöfe mit Programmierbarkeit und Mikrocomputersteuerung möglich sind.

Die hiermit abgeschlossene Beschreibung der einzelnen modularen Elektronik-Bausteine für programmierbare Modellbahnen ermöglicht die Gestaltung von Anlagen, die keine Wünsche mehr offen lassen. Im folgenden Kapitel wird die Konzeption einer Anlage beschrieben, die von all den beschriebenen Eigenschaften Gebrauch macht, so daß in der höchsten Ausbaustufe strategische Wettkämpfe gefahren werden können.





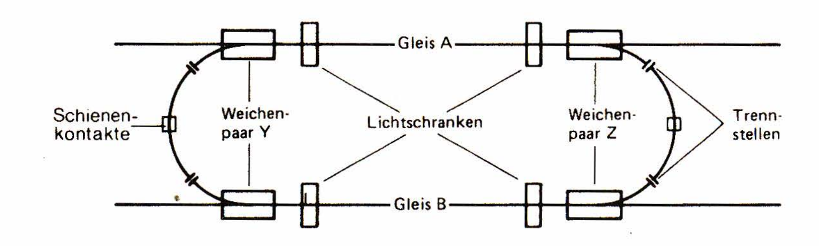
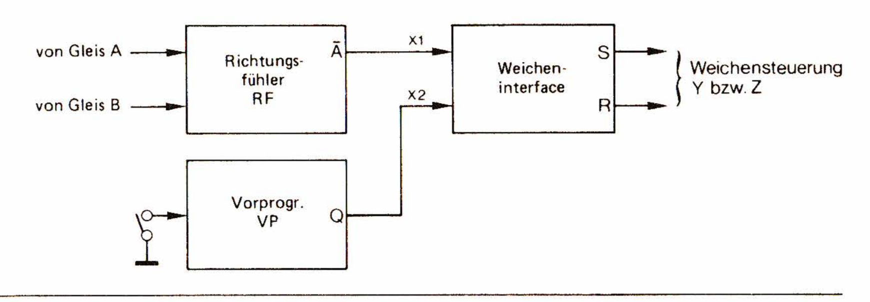
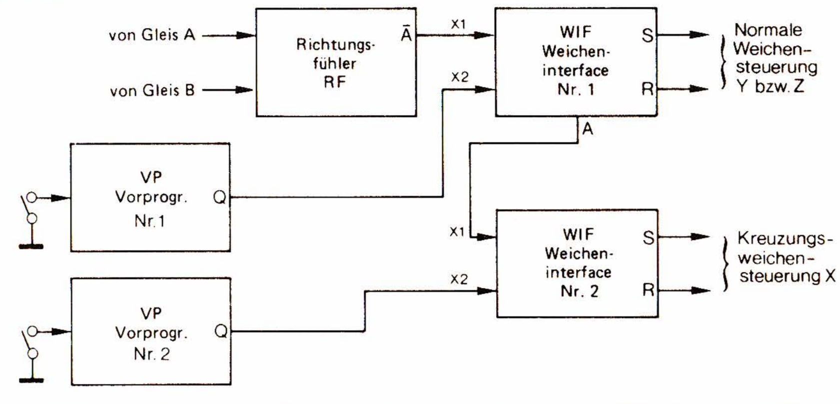


Bild 2.43: a)Kombinationen im Gleisbereich

a) Elektronik der geraden Weichenverbindung



b) Elektronik der Kreuzungsweichen-Verbindung



c) Elektronik der Wendeschleifen-Verbindung

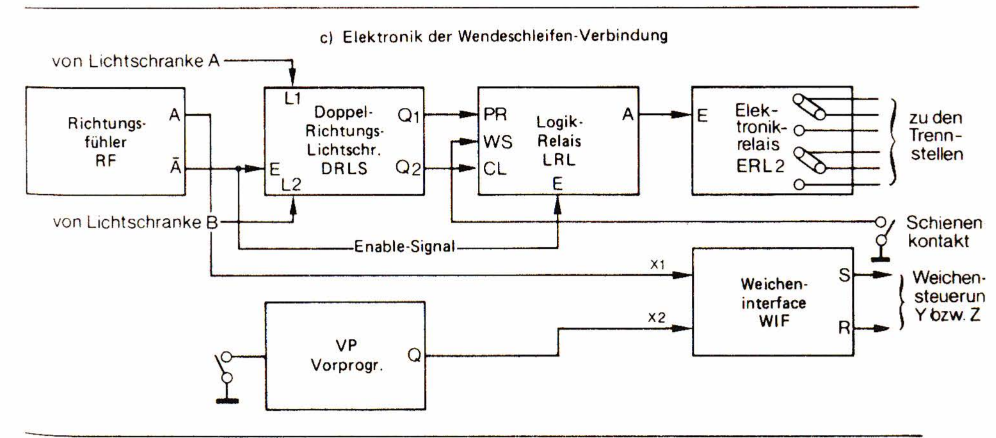
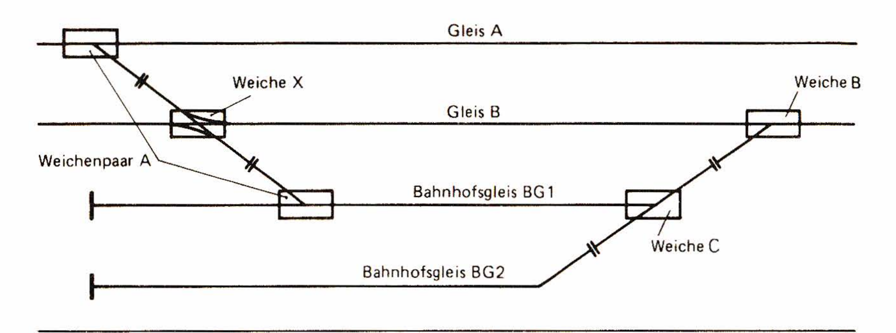


Bild 2.43: b) im Elektronik-Bereich



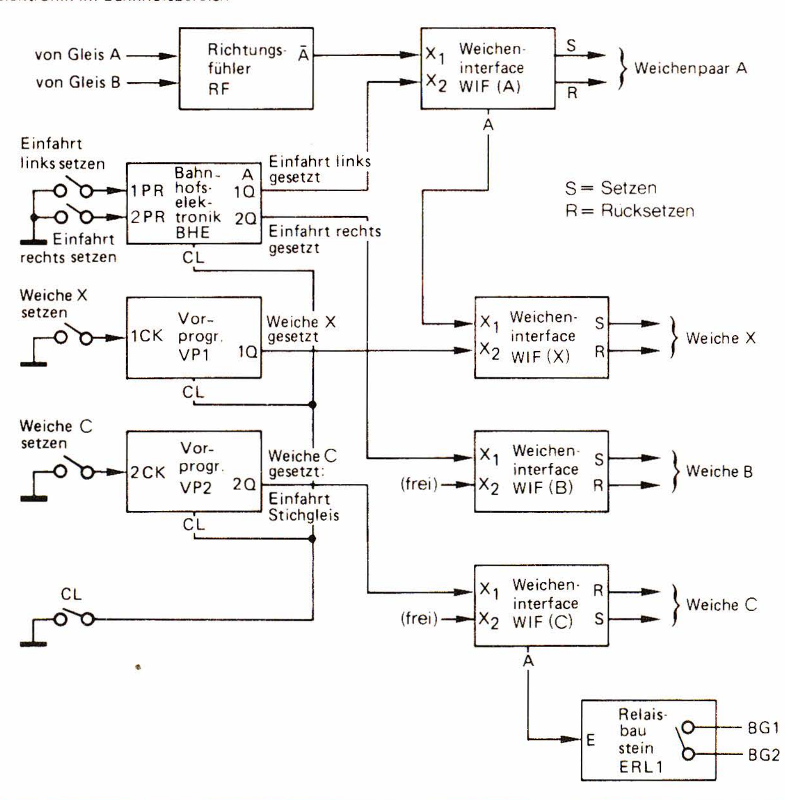


Bild 2.44: Kombinationen der Elektronik im Bahnhofsbereich

3 Eine programmierbare Miniatur-Modellbahn-Anlage als Spiel zwischen zwei Spielpartnern

Die nachfolgende Beschreibung einer programmierbaren Modelleisenbahnanlage ist als Ausführungsbeispiel zu sehen, bei dem alle bisher beschriebenen Schaltungen und Verfahren vorteilhaft zum Einsatz kommen. Die Anordnung wurde so gewählt, weil sie nicht nur 3 Wendeschleifen, sondern auch 2 sich gegenseitig sperrende Bahnhöfe enthält, so daß jeweils nur von einem Bahnhof in das Spielfeld ausgefahren werden kann. Dabei werden sowohl Kreuzungs- wie tangentiale Einmündungen verwendet. Diese Konfiguration der Anlage hat sich für das nachfolgende partnerschaftliche Modellbahnspiel als Grundanordnung herausgestellt. Der Praktiker, der das Konzept dieser Anlage verstanden hat, kann sicherlich ohne Probleme eigene Konfigurationen entwerfen.

3.1 Die Grundidee

Modellbahn-Anlagen werden sehr schnell langweilig, wenn sie einmal fertiggestellt sind. Es sollte sich daher lohnen, darüber nachzudenken, was man tun kann, um das Spielen mit der fertigen Anlage interessanter zu gestalten. Dabei liegt es nahe, mit den Schienen ein Netz aufzubauen, das partnerschaftliche Spiele ermöglicht, ähnlich wie Mühle oder Fang-den-Hut, nur daß nun elektromechanische und elektronische Hilfsmittel benutzt werden, um das Spielfeld zu gestalten.
Die Technik der Gestaltung eines solchen Spielfeldes sieht nun in der Tat grundsätzlich gar nicht so schwierig aus, wenn man von den Grundgegebenheiten einer mit Gleichstrom betriebenen Modellbahn ausgeht. Benutzt man nämlich zwei getrennte Fahrgeräte und schließt diese an benachbarte Gleise an, so ist die Überfahrt von einem auf das Nachbargleis nur unter bestimmten Bedingungen möglich, nämlich über einen geraden Übergang, wenn gleiche Fahrtrichtung, d.h. gleiche Polarität zwischen den Fahrstrecken besteht und über einen Wendebogen, wenn ungleiche Fahrtrichtung, d.h. ungleiche Polarität zwischen den Fahrstrecken besteht. Ausgehend von diesen natürlichen Gegebenheiten einer mit Gleichstrom betriebenen Modellbahn läßt sich ein Schienennetz gestalten, das einen abschnitt-

weisen Aufstieg von einem Startbahnhof bis zu einem Zielbahnhof ermöglicht, wobei z.B. derjenige, der zuerst im Ziel ist, gewonnen hat oder bei Durchfahrt durch den Zielbahnhof entsprechend Punkte sammeln kann.
Bild 3.1 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten, Schienenübergänge zwischen zwei benachbarten Fahrstrecken zu gestalten. Die Fahrstrecken n und n+1 sind Stücke mehr oder weniger parallel verlaufender Fahrkreise. In dieser grundsätzlichen Betrachtung wird nun angegeben, wann eine Überfahrt von Strecke n auf Strecke n+1 möglich ist, wobei dies als Aufstieg bezeichnet wird, da das Gleis n+1 dem Ziel näher ist als das Gleis n.
Der gerade Übergang Bild 3.1a erlaubt bei gleicher Fahrspannungspolarität einen Aufstieg von Fahrstrecke n auf n+1 bei Fahrt im Uhrzeigersinn, der Übergang Bild 3.1b erlaubt dies bei Fahrt entgegen dem Uhrzeigersinn. Der Wendebogen Bild 3.1c erlaubt einen Aufstieg von n auf n+1 bei Durchfahren des Bogens entgegen dem Uhrzeigersinn und Bild 3.1d bei Durchfahren im Uhrzeigersinn, wobei entgegengesetzte Fahrtrichtung auf den beiden Strecken n und n+1 besteht, d.h. entgegengesetzte Polarität der Fahrspannung. Diese erste Gruppe von Übergängen wollen wir die einfachen (reinen) Verbindungen nennen, da diese den Übergang von einer Fahrstrecke auf die benachbarte auf nur eine einzige Weise ermöglicht.
Werden die vier Grundelemente Bild 3.1a . . . d miteinander kombiniert, so entstehen bei einfacher Kombination Überfahrmöglichkeiten in beiden Richtungen, wobei wiederum davon ausgegangen wird, daß die Fahrstrecken n und n +1 in sich geschlossene Kreise sind. In Bild 3.1e ist die Überfahrt zwischen den Strecken n und n+1 in beiden Fahrtrichtungen möglich, solange diese auf beiden Fahrstrecken gleich ist. In Bild 3.1f ist dies der Fall für entgegengesetzte Fahrtrichtungen auf den benachbarten Fahrstrecken n und n+1. Da die Verbindungen 3.1e und 3.1f entweder nur bei gleicher oder bei entgegengesetzter Polarität der Fahrspannung überfahrbar sind, wollen wir diese *zweite* Gruppe die Gruppe der doppelten reinen Verbindungen nennen.
Die *dritte* Gruppe ist die Gruppe der doppelten gemischten Verbindungen. Man kann in Bild 3.1g von n nach n+1 bei Rechtsfahrt auf Gleis n immer nach Gleis n+1 aufsteigen, gleichgültig ob die Fahrtrichtung auf Gleis n+1 gleiche oder entgegengesetzte Richtung hat und in Bild 3.1h kann man dies bei Linksfahrt auf Gleis n tun.
Die *vierte* Gruppe ist die Gruppe der dreifach gemischten Verbindungen. Man kann hier von Gleis n nach n+1 bei Rechts- und Linksfahrt aufsteigen, wobei man bei gleicher Fahrtrichtung auf Gleis n+1 die geraden Verbindungen benutzen kann und bei entgegengesetzter Fahrtrichtung bestehen

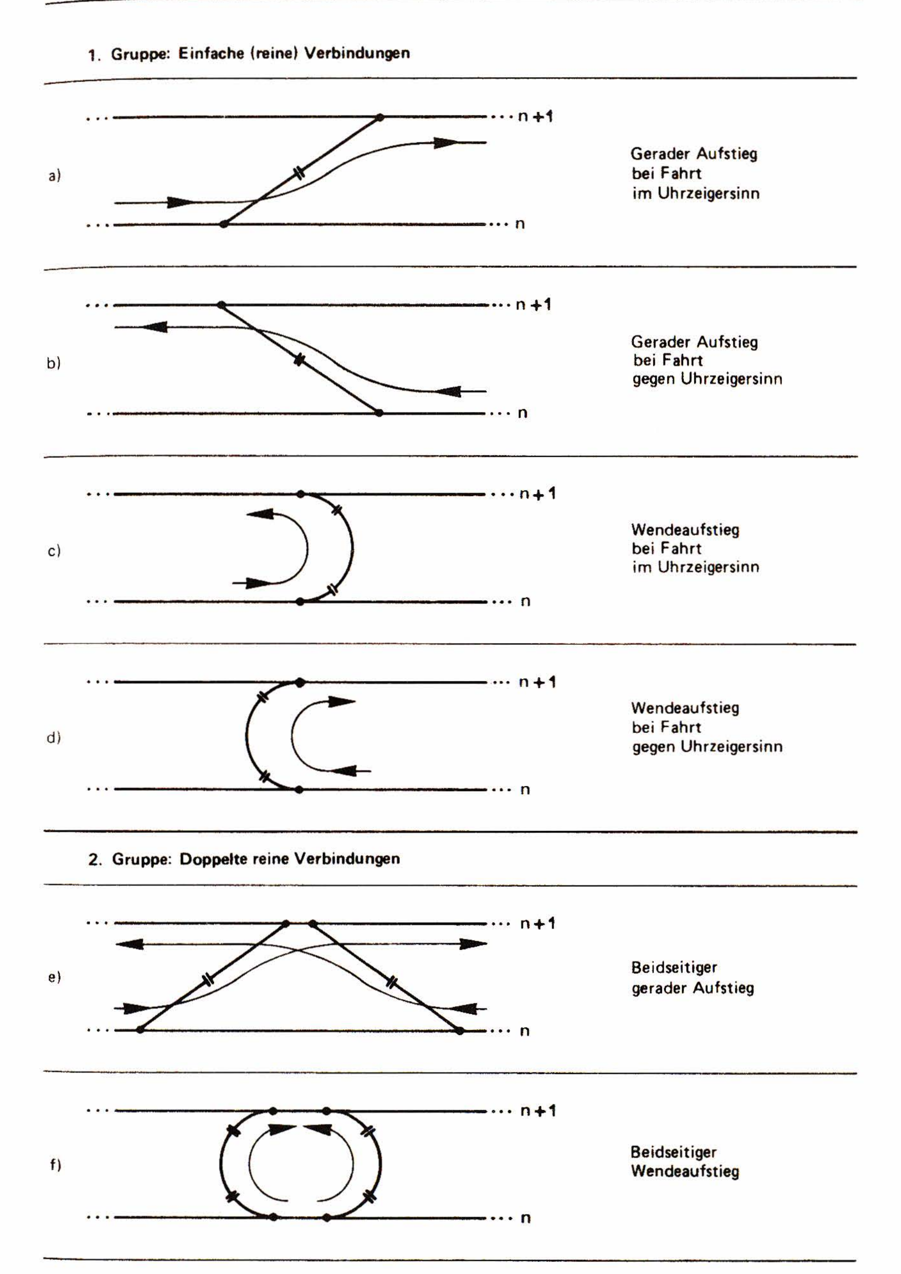
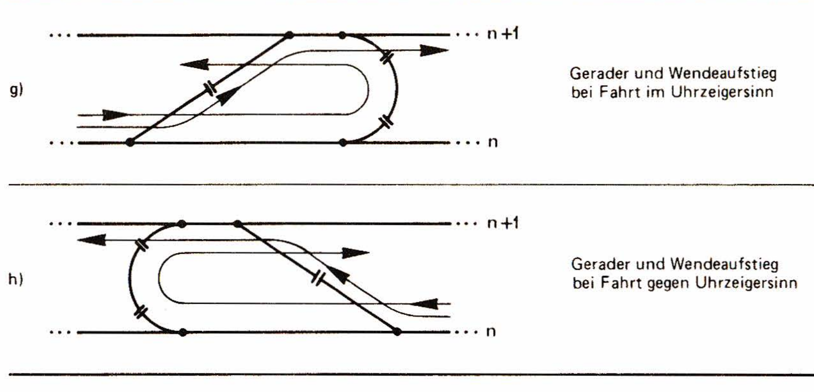
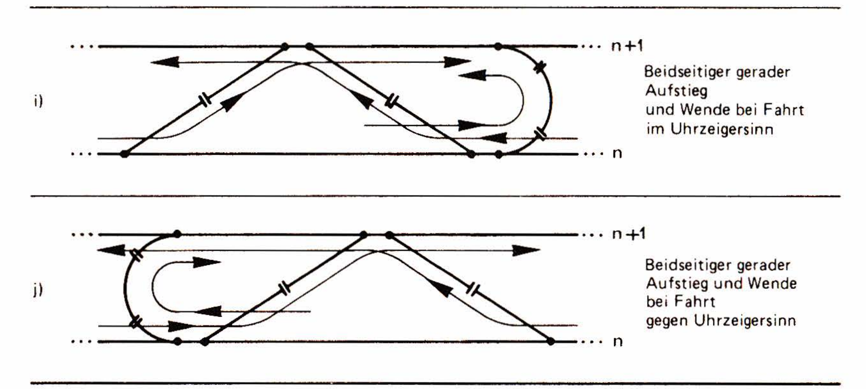


Bild 3.1: Modellbahn-Syntax (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

3. Gruppe: Doppelte gemischte Verbindungen



4. Gruppe: dreifache gemischte Verbindungen



5. Gruppe: Vierfache gemische Verbindung

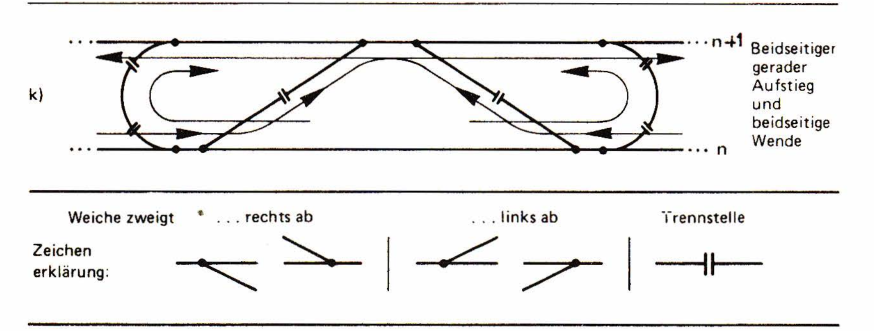


Bild 3.1: Modellbahn-Syntax (Fortsetzung von Seite 109)

zwei Möglichkeiten: im Fall 3.1i kann man auf Gleis n+1 bei Fahrt auf dem Wendebogen entgegen dem Uhrzeigersinn und im Fall 3.1j bei Fahrt auf dem Wendebogen im Uhrzeigersinn aufsteigen.
Die *fünfte* Verbindungsmöglichkeit ist nunmehr eine vierfache gemischte Verbindung, die ein Überwechseln von n nach n+1 unter allen Umständen, d.h. jeder absoluten und relativen Fahrtrichtung ermöglicht.
Man kann nun diese Gegebenheit von Gleichstrom-Modellbahnen dazu ausnutzen, ein Schienennetz zu bauen, das schematisch in *Bild 3.2* gezeigt ist. Dieses Schienennetz enthält zwei Startbahnhöfe A, B und vier mehr- oder weniger konzentrische Fahrkreise, die hier als Geraden 1 . . . 4 gezeichnet sind sowie einen Zielbahnhof Z.
Bevor gezeigt wird, wie man diese Schienennetzstruktur am besten gestaltet und diese so gefundene Struktur von der bisherigen Darstellungsform in eine kreisförmige Schienennetzstruktur überführt, sollen zunächst die Spielregeln eines solchen partnerschaftlichen Modellbahnspieles skizziert werden, damit der Modellbahner versteht, worauf es bei der Gestaltung des Spielfeldes vor allem ankommt.

3.2 Spielregel-Übersicht

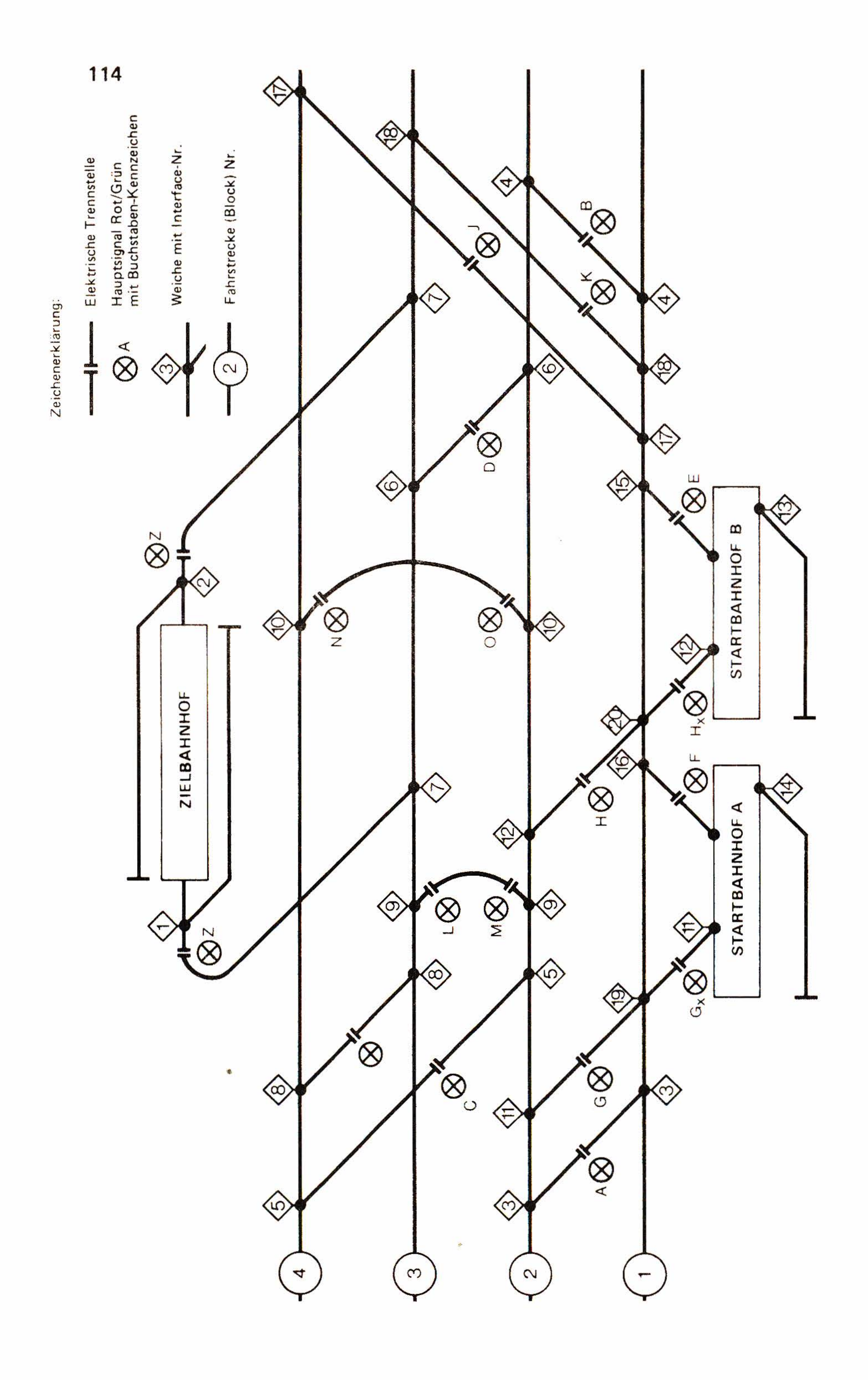
Die grundlegenden Spielregeln für ein solches partnerschaftliches Modellbahnspiel sind sehr einfach und unmißverständlich und sollen hier zum Verständnis kurz skizziert werden.
Zu Beginn dieses Spieles haben beide Spieler je mindestens einen Zug im Startbahnhof stehen. Durch Programm-Tasten werden die Fahrgeräte wechselseitig an die Fahrlevel 1 . . . 4 angeschlossen, d.h. wählt Spieler A Level 2 an, bekommt Spieler B automatisch Level 1 usw. Wenn Spieler A die Fahrtrichtung festgelegt hat, kann Spieler B die seine wählen, die möglichst so sein wird, daß die meisten Übergänge gesperrt sind. Spieler A versucht dann, seinen Zug aus dem Startbahnhof heraus möglichst weit dem Zielbahnhof anzunähern. Kommt er über einen bestimmten Fahrlevel nicht hinaus, gibt er das Bedienungspult an Spieler B ab, der nun seinerseits versucht, seinen Zug dem Zielbahnhof näher zu bringen. Derjenige Spieler, der seinen Zug zuerst in den Zielbahnhof einfährt, hat gewonnen.
Mit Hilfe der in Bild 3.1 gezeigten Modellbahn-Syntax kann man nun Weichenverbindungen einzeichnen, die einen schrittweisen Aufstieg von Fahrstrecke 1 bis Fahrstrecke 4 und schließlich die Einfahrt in den Zielbahnhof Z ermöglichen. Nachdem jedoch zumindest 2 Fahrgeräte vorgesehen sind,

Bild 3.2: Gleisanordnung für ein Modellbahnspiel (schematisch)

die abwechselnd an die Strecke 1 und 3 bzw. 2 und 4 angeschlossen werden, ist die Durchfahrt vom Startbahnhof bis zum Ziel nur über die Weichenverbindungen möglich, die auf Grund der einmal eingestellten Fahrtrichtung (= Polarität der Fahrspannung) der beiden Fahrgeräte relativ zueinander überfahrbar sind. Das bedeutet: man kann durch die Polaritätswahl der Fahrgeräte bestimmte Verbindungen sperren und andere öffnen. Wenn man nun jedes der beiden Fahrgeräte einem Spieler zuteilt, kann der eine Spieler seinem Gegner durch entsprechende Fahrspannungspolarität die Verbindungen sperren, die dieser braucht, um ins Ziel einzufahren. Um das Spiel nicht schon nach ein paar Kommandowechseln am Steuerpult enden zu lassen, kann man im Zielbahnhof zwei richtungsgesteuerte elektronische Zähler anbringen, die für jeden Spieler nur dann Punkte sammeln, wenn er in einer bestimmten Richtung in das Ziel einfährt.
Bei dieser Art Modellbahn-Spiel mit Ermittlung eines Gewinners geht es bei der Gestaltung des Schienennetzes nun besonders darum, dafür zu sorgen, daß dieses Schienennetz bei Chancengleichheit für beide Spieler genügend Abwechslung bietet. Wir nehmen uns die Modellbahn-Syntax aus Bild 3.1 zu Hilfe, um dies zu erreichen.

3.3 Die Gestaltung des Spielfeldes

Bild 3.3 zeigt ein für partnerschaftliche Modellbahn-Spiele geeignetes Spielfeld. Es enthält im Spielfeld sechs gerade Übergänge und drei Wendeschleifen, wobei die dritte Wendeschleife zugleich den Zielbahnhof enthält. Diese Anordnung erlaubt, ähnlich wie eine Zwickmühle, eine Fahrtrichtungsprogrammierung, die ein kontinuierliches Durchfahren des Zielbahnhofes ermöglicht, nämlich dann, wenn Gleis 2 und 4 gleiches und Gleis 3 entgegengesetztes Potential (d.h. entgegengesetzte Fahrtrichtung) haben. Da die Fahrgeräte sich beide in diese Schaltstellung bringen lassen, haben beide Spieler die gleiche Chance, sich diese Zwickmühlenstellung zu programmieren, aber nur, wenn der andere Spielpartner die Chance eines geeigneten Gegenprogramms nicht bemerkt.
Die tatsächliche Ausführung eines Schienennetzes nach Bild 3.3 geht natürlich zu gebogenen Schienenkreisen über, die zwar unübersichtlicher sind als die ebenen Strukturen aus Bild 3.2 und 3.3, sich jedoch praktisch schöner gestalten lassen, zumal die Bilder 3.2 und 3.3 in ihrer Betrachtungsweise bereits davon ausgingen, daß es sich um in sich geschlossene Schienenkreise handelt. Mit Hilfe der Modellbahn-Syntax aus Bild 3.1 gelingt es, die ebene Struktur aus Bild 3.3 in eine gebogene zu überführen.


Zeichenerklärung:
Elektrische Trennstelle
Hauptsignal Rot/Grün mit Buchstaben-Kennzeichen
Weiche mit Interface-Nr.
Fahrstrecke (Block) Nr.
ZIELBAHNHOF
STARTBAHNHOF A
STARTBAHNHOF B

Diese Überführung soll etwas näher erläutert werden, weil es für das Spielfeld von großer Bedeutung ist, die Chancengleichheit für beide Spielpartner zu erhalten und trotzdem zu einem interessanten und vielseitigen Modellbahn-Aufbau zu gelangen. Eine gewisse Schwierigkeit besteht darin, daß man in der ebenen Struktur durchaus von Rechts- und Linksfahrt sprechen kann, in einer kreisförmigen Struktur jedoch beide Fahrtrichtungen hat, da ein Zug im unteren Kreisbogen z.B. von links nach rechts und im oberen Kreisbogen von rechts nach links fährt. Es ist deshalb notwendig, von „Fahrt im Uhrzeigersinn" oder „gegen den Uhrzeigersinn" zu sprechen, wenn man es mit kreisförmigen Strukturen zu tun hat.
Bild 3.4 zeigt nun, wie zwei Weichenverbindungen zwischen zwei Fahrstrecken von einer geraden (Bild 3.4a) auf eine kreisförmige (Bild 3.4b) Struktur übertragen werden, wobei die Verbindung A im unteren, die Verbindung B im oberen Kreisbogen vorgesehen ist. Wie wir leicht sehen können, ändert die Verbindung im oberen Kreisbogen scheinbar ihre Richtung. Unter Berücksichtigung dieser Gesetzmäßigkeit zeigt Bild 3.5 (Seite 155) die vom Spielablauf mit Bild 3.3 identische kreisähnliche Struktur. Wer sich der Mühe unterziehen will, kann gerne nachprüfen: vom Spielstandpunkt aus betrachtet, verhält sich Bild 3.5 wie Bild 3.3. Die Zeichnung Bild 3.5 ist übrigens maßstabgerecht gezeichnet und in der Praxis mit Märklin-Miniclub-Teilen auf eine Platte von 1 x 2 m aufgebaut worden. Neben dem bisher gesagten enthält die Anlage noch einige Stichgleise in den Bahnhofsbereichen. Der folgende Abschnitt wird nun beschreiben, wie diese Modellbahnanlage mit Hilfe der Elektronik aus Kapitel 2 zu einem störungsfreien Betrieb kommt. Die mit gleichen Nummern versehenen Weichen werden von demselben Interface-Baustein angesteuert, und die Trennstellen werden von Rot/Grün-Signalen in der Schaltungstechnik nach Bild 2.18 markiert; sie sind mit Großbuchstaben in Bild 3.3 und 3.5 angegeben. Die Bahnhöfe werden über je eine Bahnhofselektronik BHE angeschlossen. Alle Weichenverbindungen lassen sich über Vorprogrammbausteine VP vorwählen. Zwischen allen Fahrstrecken, von denen auf benachbarte übergewechselt werden kann, werden Richtungsfühler-Elektroniken RF eingesetzt, die die Signale steuern und zugleich nur die überfahrbaren Weichenverbindungen freigeben. Der nächste Abschnitt beschreibt die Anordnungen etwas ausführlicher, damit der Praktiker leicht sein eigenes Schienennetz entwerfen kann.

←Bild 3.3: Gleisanordnung für ein Modellbahnspiel mit Zwickmühlenfähigkeit (lineare Anordnung)

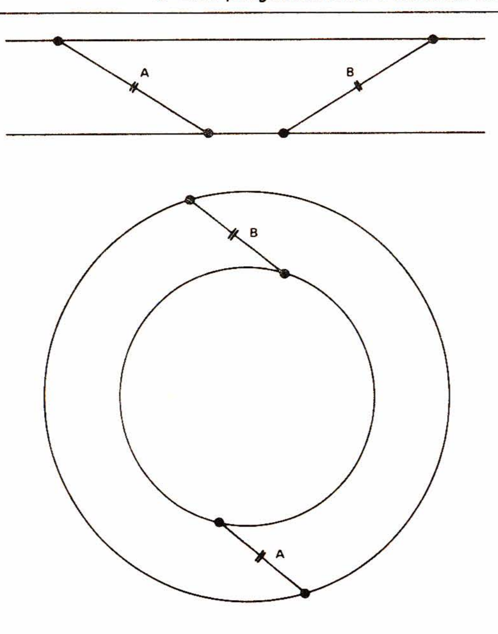


Bild 3.4: Überführung der linearen Gleisstruktur in eine kreisförmige

3.4 Die Umsetzung des Schienennetzes in ein programmierbares Elektronik-Netz

Die Umsetzung des Schienennetzes nach *Bild 3.5* (siehe Faltblatt) in ein programmierbares Elektronik-Netz erfolgt in vier Schritten:

1. Anschluß der Fahrgeräte an die vier Fahrstrecken. Hierzu werden im wesentlichen ein Vorprogrammbaustein VP und zwei doppelpolige Relais ERL2 benötigt.
2. Ausrüstung des Schienennetzes mit Richtungsfühler-Elektronik RF zur Steuerung der Signale und Interface-Elektroniken.
3. Anschluß der Weicheninterface WIF und Wendeschleifen-Elektroniken (DRLS, LRŁ, ERL2) mit Steuerung über die Richtungsfühler RF und Vorprogrammierung über die Vorprogrammierbausteine VP, so daß ein Befahren der jeweiligen Weichenverbindungen möglich ist, wenn diese befahrbar sind.
4. Ausrüsten der Bahnhöfe mit den Bahnhofselektroniken BHE, die ein störungsfreies Ein- und Ausfahren ermöglichen und über die Clear-Verbin-

dungen sich gegenseitig verriegeln, so daß immer nur von einem Bahnhof in das Spielfeld eingefahren werden kann.

In dieser Reihenfolge soll nun die Elektronik-Ausrüstung des Schienennetzes beschrieben werden.

3.4.1 Der Anschluß der Fahrgeräte

Der Fahrgeräte-Anschluß ist in *Bild 3.6* gezeigt. Die Fahrgeräte sind als kleine Kreise mit den Buchstaben A und B dargestellt. Die Fahrspannung wird mit den doppelpoligen Umschaltrelais ERL2 wechselseitig an die Gleisstromkreise 1 . . . 4 gelegt. Dadurch kann man mit zwei Fahrgeräten vier Stromkreise speisen und erhält durch die vier Kombinationsmöglichkeiten gleichzeitig vier verschiedene Spielprogramme. Wichtig sind die beiden Belastungswiderstände R_b, die dafür sorgen, daß die Leistungsmodule der Fahrgeräte immer eine Vorlast vorfinden, unabhängig davon, ob auf den gerade geschlossenen Stromkreisen eine Lok steht oder nicht. Ebenso wichtig sind die Keramik-Kondensatoren C1, die Störimpulse von fahrenden Loks auf den Gleisstrecken 1 . . . 4 unterdrücken.
Die beiden Anzeigefelder für A und B werden auf dem Bedienpult angebracht und zeigen zu jedem Zeitpunkt an, an welchen Gleisstromkreis das jeweilige Fahrgerät angeschlossen ist. Das ist unter anderem deshalb wichtig, weil der Spieler bei Kommandoübernahme am Steuerpult sehen kann, wann sein Zug mit seinem Fahrgerät verbunden ist. Die gewünschte Anschlußverteilung kann der Spieler dann vor Anfahrt mit den „Levelwahl"-Tasten programmieren.
Natürlich sind die Anzeigefelder A und B mit LED's bestückt. Nachdem der Vorprogramm-Baustein bereits je einen LED-Treiber-Transistor pro Flip-Flop enthält, sind nur noch je zwei weitere Treibertransistoren pro Feld nötig. Eine kleine Modifikation der VP-Schaltung ist insofern nötig, als R3 in Bild 2.26 auf etwa die Hälfte reduziert werden sollte, da man zwei LED's nicht ohne Vorwiderstand parallelschalten kann, wenn man gleiche Leuchtstärke erzielen will. R3 auf der VP-Platine wird daher für diese Anwendung auf 100Ω reduziert, und es wird ein der gewünschten Leuchtstärke des verwendeten LED entsprechender Widerstand R2 in Bild 3.6 von etwa 100 . . . 200Ω verwendet.

3.4.2 Die Ausrüstung des Schienennetzes mit Richtungsfühler-Elektronik

Zur Steuerung der geraden Weichenverbindungen und der Wendeschleifen sind die Richtungsfühler-Elektroniken notwendig, wie wir in Abschnitt 2.5

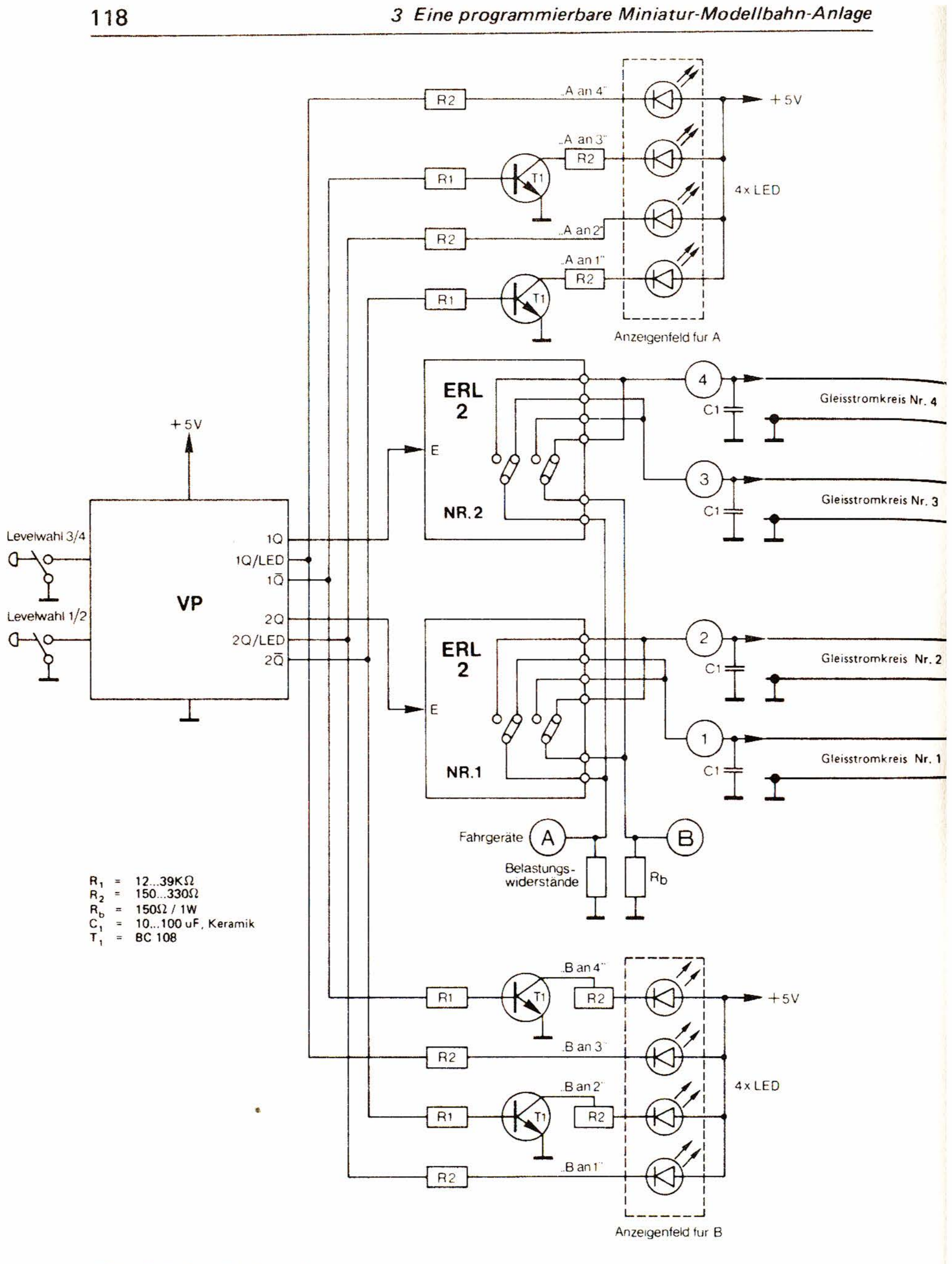


Bild 3.6: Anschluß der Fahrgeräte

und 2.6 gesehen haben. Die Schaltung hierzu zeigt Bild 2.19. Es muß zwischen alle Fahrstrecken, die mit Weichenverbindungen versehen sind, ein Richtungsfühler RF geschaltet werden. Um die Weichenverbindungen schon vor dem Anfahren der Loks programmieren zu können, muß der Handregler HST eine gewisse Grundspannung abgeben, die eine Ausgangsspannung der Fahrgeräte unter der Anfahrschwelle der Loks erzeugt. Hierzu wird ein Widerstand am Fußpunkt des oberen Regelteiles von P1 nach Masse angeschlossen (siehe x in Bild 2.15). Dieser Widerstand muß je nach Modellbahn-Hersteller unterschiedlich groß sein und beträgt für Märklin-Miniclub-Anlagen für die in Bild 2.15 angegebenen Werte etwa 2KΩ.
Das Anschlußschema der Richtungsfühler-Elektroniken RF mit Vorverstärker-Baustein DVV zeigt *Bild 3.7.* Aus diesem Bild wird auch ersichtlich, warum die DVV und die RF nicht auf derselben Platine untergebracht sind: die DVV-Ausgänge speisen mehrere verschiedene RF-Elektroniken, je nachdem, wie das Schienennetz mit seinen Weichenverbindungen angelegt ist. Bild 3.7 gibt das richtige Anschlußschema für eine Modellbahn-Anlage nach Bild 3.5 an.

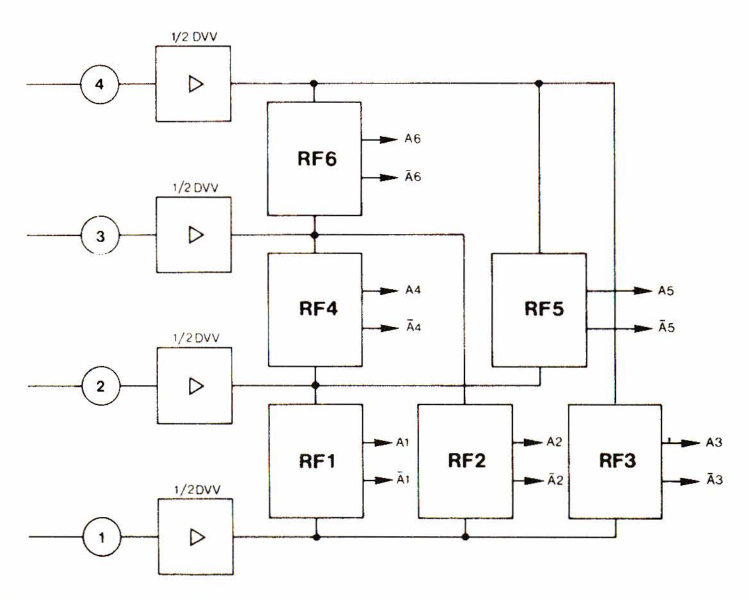


Bild 3.7: Ausrüstung des Schienennetzes mit Richtungsfühlern

3.4.3 Anschluß der Weicheninterfaces und Wendeschleifen-Elektroniken

Die Anschlußtechnik der Weicheninterface WIF und Vorprogramm-Bausteine VP für die geraden Weichenverbindungen geht aus Bild 2.25 hervor, und für die Wendeschleifen ist die Anschlußtechnik aus Bild 2.28 ersichtlich. Die *Tabelle 13* gibt an, welche Richtungsfühler-Elektronik-Ausgänge an welche Weicheninterface- und Wendeschleifen-Elektroniken anzuschließen sind, wenn man eine Modellbahnanlage nach 3.5 realisieren will. Zum Verständnis der Angaben aus Tabelle 13 kann man leicht Stichproben machen: z.B. müssen alle Weicheninterface, die zu geraden Weichenübergängen zwischen Fahrlevel 1 und 2 gehören, von Ausgang $\overline{A}1$ des Richtungsfühlers zwischen Fahrlevel1 und 2 freigegeben werden ($\overline{A}$=Hi), während die Wendeschleife zwischen Fahrlevel 2 und 3 durch den Ausgang (A4 des Richtungsfühlers zwischen Fahrlevel 2 und 3 (A=Hi) freigegeben werden muß. Wird der betreffende Vorprogrammbaustein gesetzt, schalten diese Weichenverbindungen durch.

Interface Nr.	Art/Verwendung der Verbindung	Anschlüsse x_1 bzw. x_2	Signal bezeichnung	Signalsteuerung
1	Stichgleis für Spieler A im Zielbahnhof	x_1 an Q/VP-Z_A x_2 bleibt frei	––	––
2	Stichgleis für Spieler B im Zielbahnhof	x_1 an Q/VP-Z_B x_2 bleibt frei	––	––
3	Gerader Aufstieg Level 1 nach Level 2 bei Fahrt in Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP3 x_2 an $\overline{A}1$/RF1	A	A_1/RF1
4	Gerader Aufstieg Level 1 nach Level 2 bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP4 x_2 an $\overline{A}1$/RF1	B	A1/RF1
5	Gerader Aufstieg Level 2 nach Level 4 bei Fahrt im Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP5 x_2 an $\overline{A}5$/RF5	C	A5/RF5
6	Gerader Aufstieg Level 2 nach Level 3 bei Fahrt im Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP6 x_2 an $\overline{A}4$/RF4	D	A4/RF4
7	Einfahrt für Spieler A, B ins Zielgleis	x_1 an Q/VP7 x_2 an A6/RF6	Z	$\overline{A}6$/RF6
8	Gerader Aufstieg Level 3 nach Level 4 bei Fahrt im Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP8 x_2 an $\overline{A}6$/RF6	P	A6/RF6

Interface Nr.	Art/Verwendung der Verbindung	Anschlüsse x_1 bzw. x_2	Signal bezeichnung	Signal-steuerung
9	Aufstieg über Wendebogen Level 2 nach Level 3 bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP9 x_2 an A4/RF4	L, M	$\overline{A}$4/RF4
10	Aufstieg über Wendebogen Level 2 nach Level 4 bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP10 x_2 an A5/RF5	N, O	$\overline{A}$5/RF5
11	Ausfahrt aus Startbahnhof A bei Fahrt im Uhrzeigersinn	x_1 an 1Q/BHE, A Start links x_2 an $\overline{A}$1/RF1	G	1$\overline{Q}$/BHE(A)
12	Ausfahrt aus Startbahnhof B bei Fahrt im Uhrzeigersinn	x_1 an 1Q/BHE, B Start rechts x_2 an $\overline{A}$1/RF1	H	1$\overline{Q}$/BHE(B)
13	Stichgleis Startbahnhof B	x_1 an Q/VP-STB x_2 bleibt frei	––	––
14	Stichgleis Startbahnhof A	x_1 an Q/VP-STA x_2 bleibt frei	––	––
15	Ausfahrt aus Startbahnhof B bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an 2Q/BHE, B Start links x_2 bleibt frei	E	2$\overline{Q}$/BHE(B)
16	Ausfahrt aus Startbahnhof A bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an 2Q/BHE, A Start rechts x_2 bleibt frei	F	2$\overline{Q}$/BHE(A)
17	Gerader Aufstieg Level 1 nach Level 4 bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP17 x_2 an $\overline{A}$3/RF3	J	A3/RF3
18	Gerader Aufstieg Level 1 nach Level 3 bei Fahrt gegen Uhrzeigersinn	x_1 an Q/VP18 x_2 an $\overline{A}$2/RF2	K	A2/RF2
19	Kreuzungsweiche, bedingter Übergang zwischen Level 1 und Level 2	x_1 an Q/VP 19 x_2 an A/WIF11	G_x	A1/RF1
20	Kreuzungsweiche, bedingter Übergang zwischen Level 1 und Level 2	x_1 an Q/VP 20 x_2 an A/WIF 12	H_x	A1/RF1

Tab. 13: Weicheninterface-Steuerungen und Signalanschlüsse

Abkürzungs-Erklärungen:

VP = Vorprogramm-Baustein
RF = Richtungsfühler-Elektronik
BHE = Bahnhofselektronik
WIF = Weicheninterface
Z_A = Zielgleis A
Z_B = Zielgleis B
STA, STB = Startbahnhof A, B

Anzahl der benötigten Programm-Tasten:

12 Tasten für die Weichensteuerungen im Spielfeld
4 Tasten für die Startbahnhöfe
4 Tasten für die Stichgleise im Start- und Zielbereich

Anzahl der benötigten Elektronik-Platinen:

20 Vorprogramm-Speicherzellen, d.h. 5 Platinen VP
20 Weicheninterface, d.h. 10 Platinen WIF
6 Richtungsfühler, d.h. 3 Platinen RF
4 Vorverstärker, d.h. 2 Platinen DVV
2 Bahnhofs-Elektroniken BHE
3 Wendeschleifen-Elektroniken, d.h. 3 Platinen DRLS, 3 Platinen LRL, 3 Platinen ERL2
Relaiswechsel über Kontakt K oder je 2 x RLS notwendig, d.h. 6 Platinen RLS insgesamt.
4 Stichgleis-Anschlußschalter, d.h. 2 Platinen ERL1
2 Levelwähler, d.h. 1 Platine VP und 2 Platinen ERL2
2 Zielzähler, d.h. 2 Platinen CTR

3.4.4 Anschluß der Wende- und Zielschleifengleise

Obwohl Bild 2.28 den Anschluß und die Verdrahtung der Wendeschleifen-Elektronik für eine Wendeschleife im Detail zeigt, soll hier noch einmal zusammenfassend dargestellt werden, wie die in der Anlage Bild 3.5 vorgesehenen drei Wendeschleifen mit ihren Relaiskontakten zu verdrahten sind, und wo die Lichtschranken anzuordnen sind, damit sich ein störungsfreier Betrieb ergibt.

Bild 3.8 zeigt die Anordnung. Es ist der ovale Fahrlevel 2 mit seinem oberen und unteren Schienenstrang dargestellt, wobei die Wendeschleifenverbindung mit Weichenpaar Nr. 9 links und die Wendeschleifenverbindung mit Weichenpaar Nr. 10 rechts gezeigt ist. Die Verbindung zwischen den beiden

gebogenen Wendeschleifen ist das gerade Zielgleis Z, das ebenfalls wie eine Wendeschleife beschaltet ist. Aus dem Bild 3.8 geht ferner die Lage der Lichtschranken L1 bis L4 hervor, die dann mit Hilfe der zugehörigen Elektroniken die Umschaltung der jeweiligen Relaiskontakte bewirken. Die Relais-Wechsel werden dann durch die mechanischen Kontakte K1 bis K4 bewirkt. (Lage des Kontaktes K siehe Bild 2.28.)
Diese Kontakte können entweder einzeln (K1 und K2) oder zusammengeschaltet (K3 und K4) angeschlossen werden, je nachdem, ob eine Richtungsinformation benötigt wird oder nicht. Da die Kontakte K1 und K2 ihre Richtungsinformation an die Zielpunkte-Zähler abgeben, müssen sie getrennt zu je einem Wechseleingang der Logik-Relais-Platine LRL verdrahtet werden, während bei den Kontakten K3 und K4 je eine einzige Leitung zu einem Wechseleingang genügt.
Das wichtigste an Bild 3.8 ist die richtige Verdrahtung der geerdeten und der spannungsführenden Schienenstränge. Die geerdeten Schienenstränge sind durch die jeweiligen Masse-Symbole gekennzeichnet, und die spannungsführenden Schienenstränge durch einen kleinen Kreis mit der entsprechenden Level-Nummer darin. Die doppelten Relais-Umschaltkontakte verbinden nun die jeweiligen nicht geerdeten Wendeschleifenbögen auf der Seite mit dem Hauptgleis, an dem die Lichtschranke zuerst unterbrochen wurde. Dabei sollten die Relais-Ruhekontakte die Schleifenbögen zweckmäßigerweise mit den geraden Gleissträngen von Fahrlevel 2 verbinden, um die Relais nicht unnötig „klappern" zu lassen, wenn Level 2 befahren wird und die Wendeschleifen zwar frei aber nicht gesetzt sind. Um alle Anschlüsse fehlerfrei durchzuführen, stellt *Tabelle 14* die herzustellenden Verbindungen noch einmal zusammen. Die Umschaltkontakte im Bild 3.8 werden durch je

Anschlüsse der DRLS/LRL-Elektronik	Lichtschranke LA	Lichtschranke LB	E/DRLS E/LRL	Preset PR	Wechseln WS1	Wechseln WS2	Clear CL
Wendeschleife/ Weichenpaar 9	L3	L1	$\overline{A4}$/RF4	A1/DRLS	K3	frei	A2/DRLS
Wendeschleife/ Weichenpaar 10	L2	L4	$\overline{A5}$/RF5	A1/DRLS	K4	frei	A2/DRLS
Zielschleife Weiche 7	L1	L2	$\overline{A6}$/RF6	A1/DRLS	K1	K2	A2/DRLS

Tab. 14: Anschluß der Wendeschleifen-Elektroniken

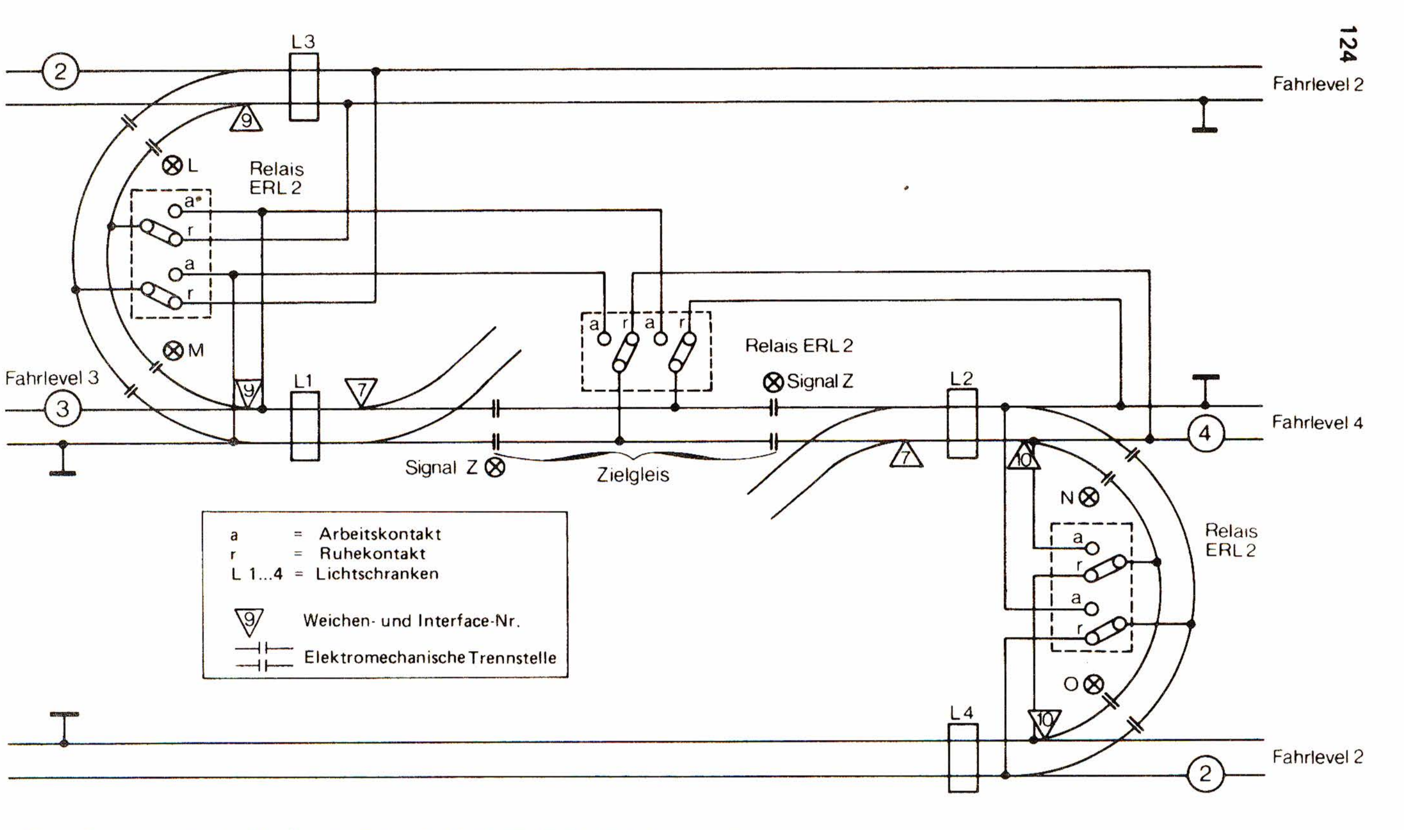


Bild 3.8: Anschluß der Wende- und Zielschleifengleise an die Relaiskontakte

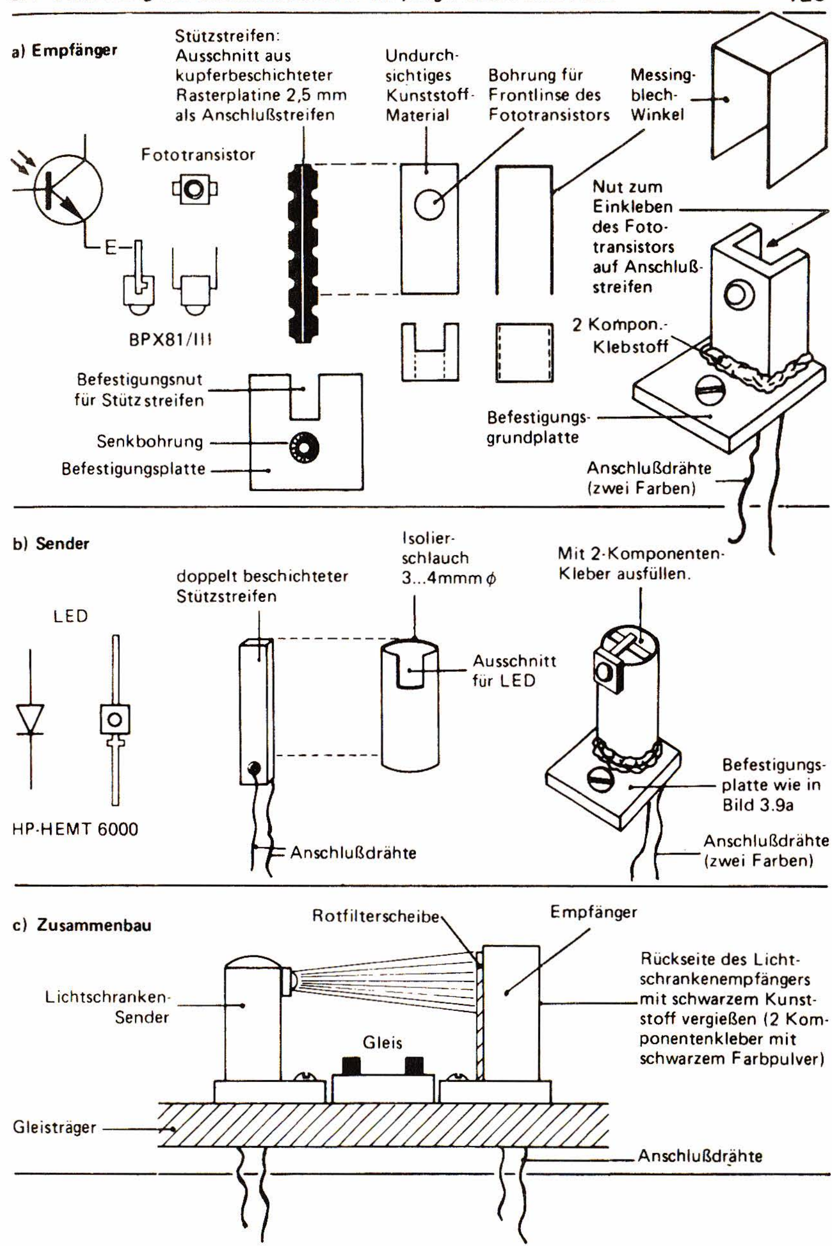


Bild 3.9: Konstruktive Gestaltung der Lichtschranken: a) Lichtschranken-Empfänger, b) Lichtschranken-Sender, c) Zusammenbau

ein ERL2-Relais dargestellt, das jeweils über einen Ausgang A der Logik-Relais-Platinen LRL angesteuert wird.

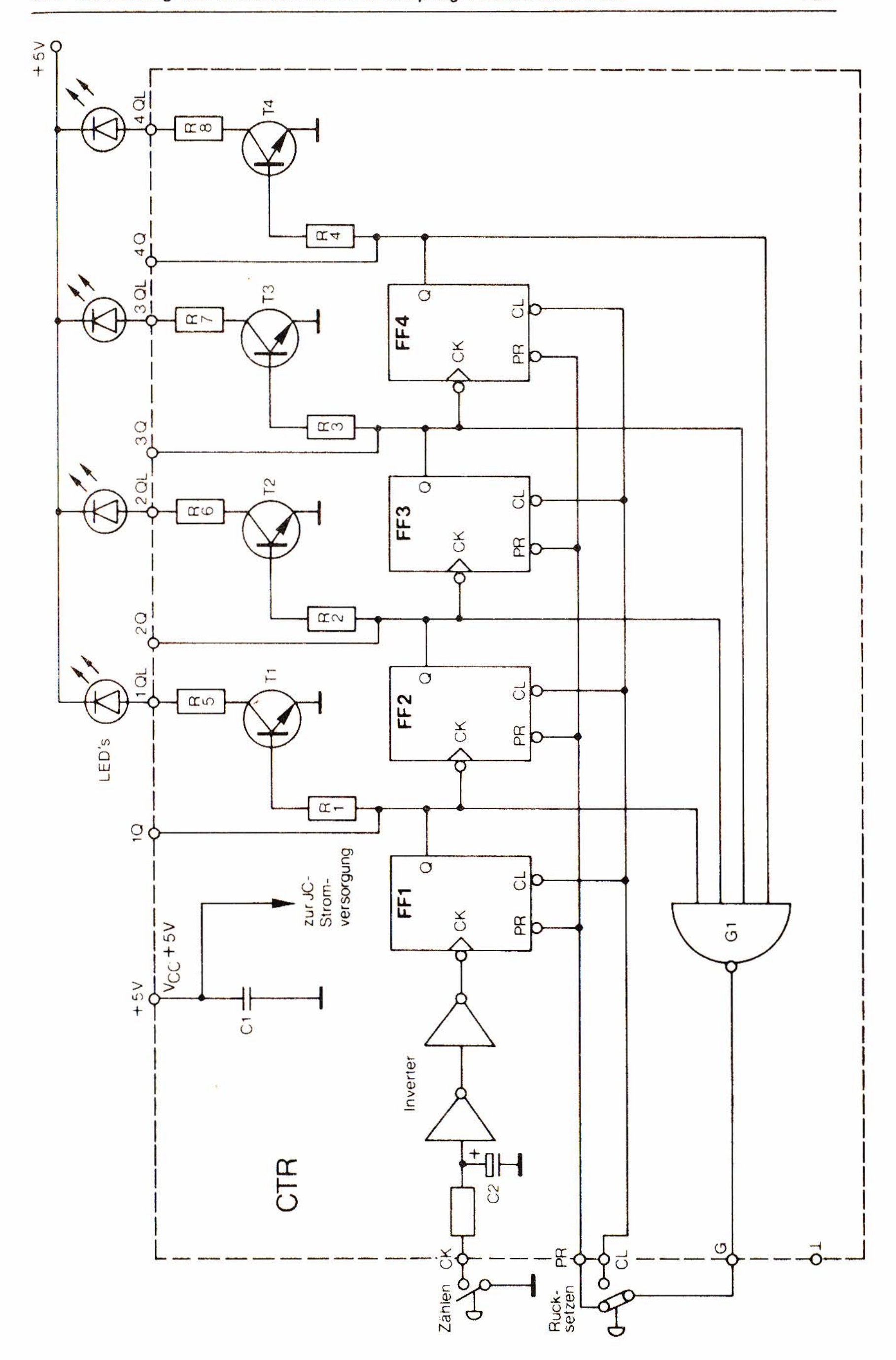
3.4.5 Konstruktive Gestaltung der Lichtschranken

Bild 3.9 zeigt die konstruktive Gestaltung des Senders und Empfängers von Gabellichtschranken, wobei die Bauteile so ausgesucht sind, daß 2 cm ohne Schwierigkeiten überbrückt werden. Größere Entfernungen verlangen stärkere Rotfilter vor den Lichtempfängern. Die hier verwendeten Sender und Empfänger haben eine angebaute Linse, und da die LED's rotes Licht ausstrahlen, können sie im dunklen Raum so ausgerichtet werden, daß sie den Fototransistor optimal beleuchten. Diese Ausrichtung wird zweckmäßig vor Erstarren des Zwei-Komponenten-Klebers überprüft. Vorsicht geboten ist ferner beim Anschluß der LED's an die Stromversorgung: fließt zu viel Strom (> 30mA,) so verlieren sie rasch an Leuchtkraft und erhalten diese wegen Überlastung auch nicht wieder zurück. Man kann die Leuchtstärke mit einem Belichtungsmesser und aufgesetzter Diffusorhaube nachprüfen: für den angegebenen Vorwiderstand ergibt sich ein Meßwert 10 oder größer, gemessen mit Lunasix 3.
Nach dem Einbau der Lichtschranken am Gleisfeld müssen diese mit der zugehörigen DRLS-Elektronik Bild 2.30 sorgfältig eingemessen werden. Mit P1 wird dabei unter normaler Betriebshelligkeit der Modellbahn-Anlage am Operationsverstärker-Ausgang ca. –4V eingestellt und geprüft, ob bei Unterbrechen des Lichtstrahles dieser Ausgang auf ca. +4V springt. P1 sollte dabei gerade, jedoch deutlich unter dieser Schaltwelle eingestellt werden. damit auch geringe Helligkeitswechsel die Lichtschranke sicher zum Ansprechen bringen. Soll das Ausgangssignal an A1 oder A2 geprüft werden, so muß E auf Lo-Potential liegen.

3.4.6 Zielpunkte-Zähler

Bild 3.10 zeigt die Schaltung eines 16-Bit-Zielpunkte-Zählers mit Stop bei 16. Die Schaltung besteht aus vier in Serie geschalteten Flip-Flops, wobei jedes FF eine Teilung durch zwei bewirkt. Sind alle Q-Ausgänge Hi, so wird der negierte Ausgang der UND-Schaltung Lo und hält alle FF auf Hi, bis die CLR-Taste gedrückt wird. Die Eingangsimpulse werden über zwei in Serie geschaltete Schmitt-Trigger-Inverter an den ersten CK-Eingang herangeführt,

Bild 3.10: 16-Bit-Zielzähler-Schaltung →


+5V
LED's
1QL
2QL
3QL
4QL
1Q
2Q
3Q
4Q
R5
R6
R7
R8
R1
R2
R3
R4
T1
T2
T3
T4
FF1
FF2
FF3
FF4
Q
CK
CL
PR
G1
+5V
VCC +5V
C1
zur JC-Strom-versorgung
Inverter
C2
CTR
Zählen
Rück-setzen
G
⊥

um Kontaktprellen sicher zu vermeiden. Die vier Widerstände von den vier Q-Ausgängen führen zu LED-Treiber-Transistoren, deren LED's im Bedienpult sitzen.
Den Test der Schaltung kann man einfach dadurch ausführen, daß man den Eingangskontakt an Masse legt. Für jeden Masseschluß muß der Zähler um ein Bit weiter zählen, bis er bei 16 angekommen ist.
Bilder 3.11 zeigen die Platine dieses Zählers.

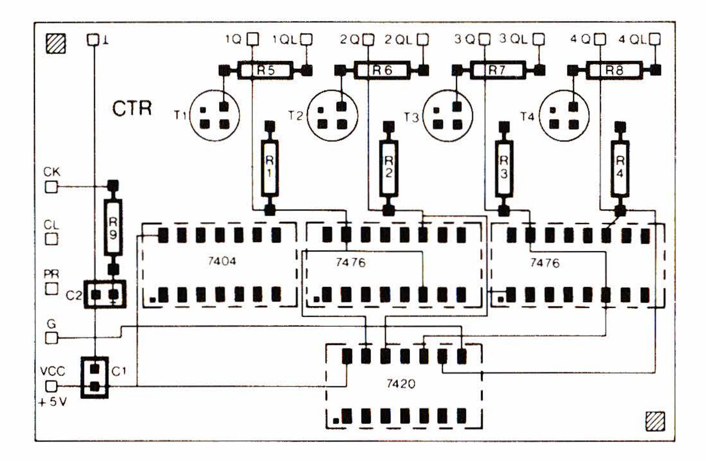


Bild 3.11.1: Bauteile-Anordnung zu Bild 3.10

3.4.7 Bahnhofselektronik-Ausrüstung

Die Modellbahn-Anlage nach Bild 3.3 und 3.5 kommt mit zwei Bahnhofselektroniken BHE nach Bild 2.38 aus. Besondere zusätzliche Clear-Erweiterungen sind nicht notwendig, da die standardmäßig vorgesehenen sechs Clear-Eingänge für diese Anlage praktisch ausreichen. Die Verschaltung eines Bahnhofs mit dieser Elektronik ist bereits in Bild 2.37 gezeigt, so daß sich weitere Erklärungen erübrigen.
Erwähnt werden sollte hingegen der Anschluß der Stichgleise in den Bahnhöfen. Es wird dabei so vorgegangen, daß ein Setzen der entsprechenden Weiche auch gleichzeitig den Strom zu diesem Stichgleis einschaltet. Das

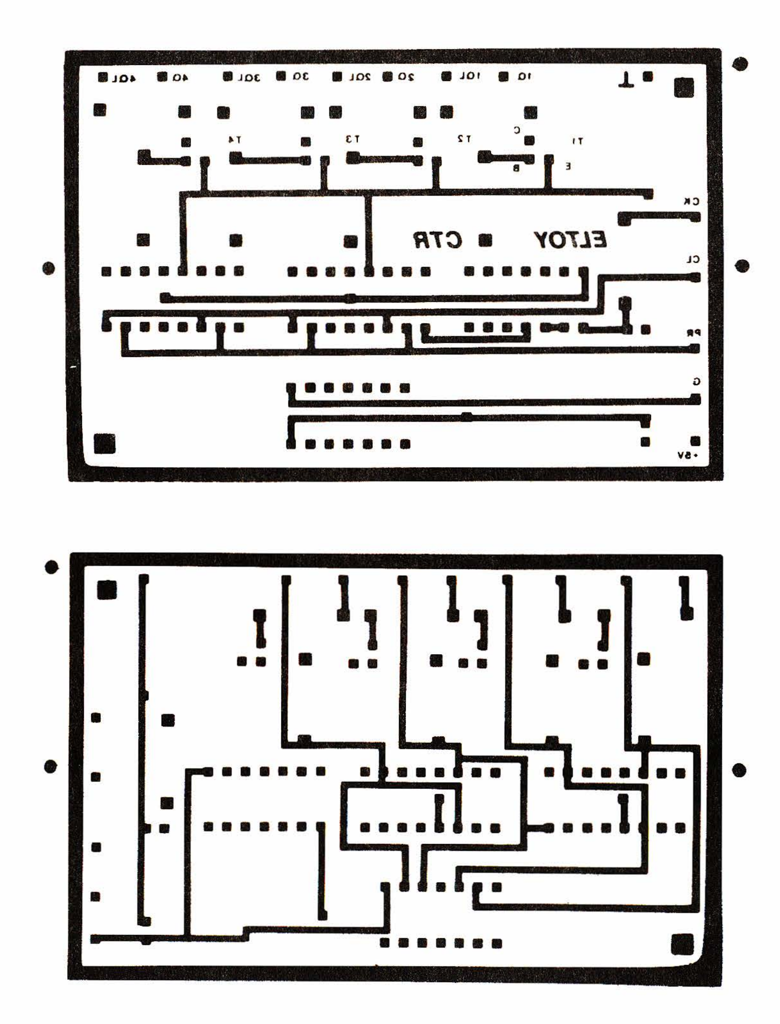


Bild 3.11.2: Platinenentwurf der CTR-Platine: a) Bauteileseite, b) Unterseite

wird am besten nach *Bild 3.12* bewirkt. Wir benötigen dazu einen Vorprogramm-Baustein VP, der zwei Stichgleise zu schalten gestattet. Die Weicheninterface zur Steuerung der Stichgleisweichen werden mit einem Steuereingang x_i an einen Q-Ausgang des VP-Bausteines angeschlossen, und der andere Steuereingang des Weicheninterfaces bleibt frei. Von demselben Q-Ausgang des Vorprogramm-Bausteines VP wird der Relaisbaustein ERL1 gesteuert. Die LED zeigt an, wann das Stichgleis befahrbar ist.

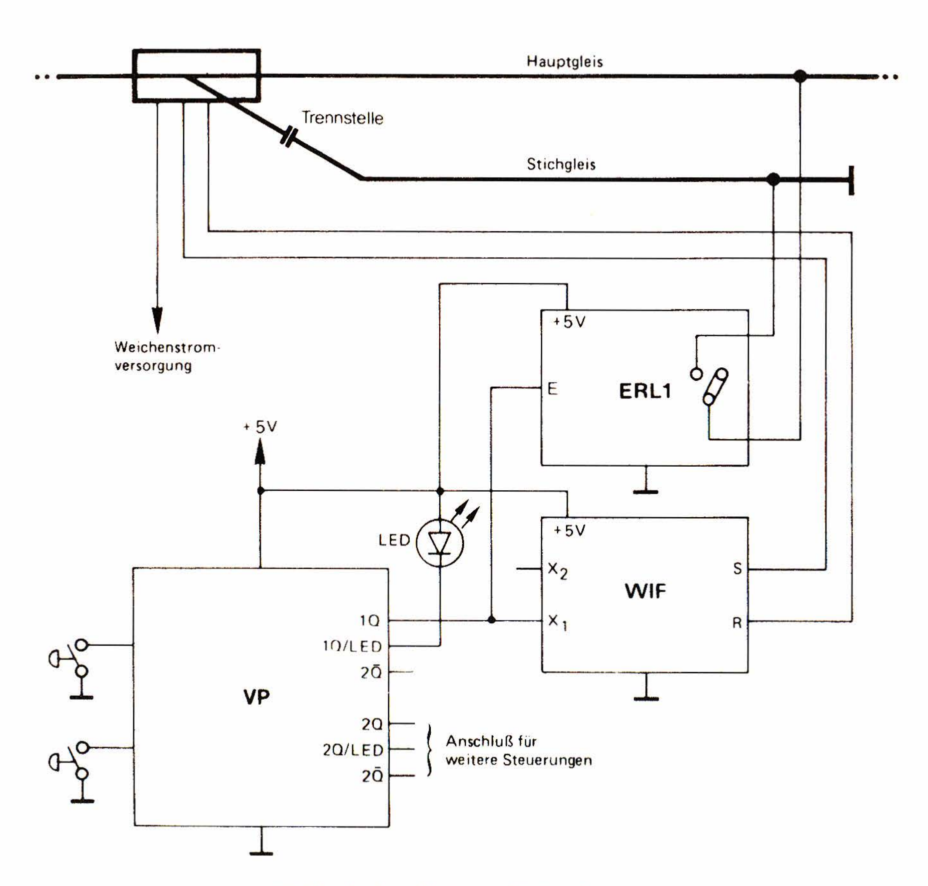


Bild 3.12: Anschluß von Stichgleisen

3.5 Anordnung der Bedienelemente am Steuerpult

Für das Modellbahn-Spiel ist es von großer Bedeutung, die Frontplatte des Steuerpults so zu gestalten, daß sich eine übersichtliche und logische Anordnung der Bedienelemente ergibt. Aufgrund des Spieles ergeben sich daher folgende Bedienelemente-Gruppen:

1) *Knöpfe und Schalter der Fahrgeräte:*

a) der Fahrtregler-Knopf
b) die Taste „Rechtsfahrt/Linksfahrt"
c) der Umschalter „Handbetrieb/Computersteuerung"
d) das Anzeigenfeld für die Fahrtlevelverteilung und die Fahrtrichtung

Diese Bedienelemente werden zweckmäßig links und rechts am Ende der Frontplatte angeordnet.

2) *Die Programmiertasten für den Bahnhofsbereich:*

a) Start links A/B: Ausfahrt aus dem Bahnhof nach links
b) Start rechts A/B: Ausfahrt aus dem Bahnhof nach rechts
c) Reserve Start A/B: Einschalten der Stichgleise
d) Clear Start A/B: Löschen des Bahnhof-Programms

3) *Die Programmtasten* zur Vorprogrammierung der Weichen im eigentlichen Spielfeld mit gemeinsamer Preset- und Clear-Taste

4) *Die Hilfstaste und Anzeigenfelder für das Spielfeld:*

a) Die Fahrlevel-Wahltaste
b) Die Zielzähler mit Rückstellung
c) Die Zielstichgleis-Vorprogrammtasten
d) Oberleitungs-Umschalter und Entkupplungstasten.

Der Programmzustand aller Programmtasten wird durch LED's angezeigt. Ein praktisch ausgeführtes Beispiel zeigt als Zeichnung *Bild 3.13,* das eine gewisse optimale Anordnung darstellt, da die Bahnhofsbereiche der Spieler deutlich vom gemeinsamen Spielprogrammfeld abgesetzt sind. Einen praktischen Aufbau zeigt *Bild 3.14,* das sich von der optimalen Anordnung (Bild 3.13) etwas unterscheidet, weil es ein früheres Stadium der Entwicklung darstellt.
Nachdem nun auch das Bedienpult festliegt, können wir uns an den Zusammenbau der Anlage und deren Inbetriebnahme machen.

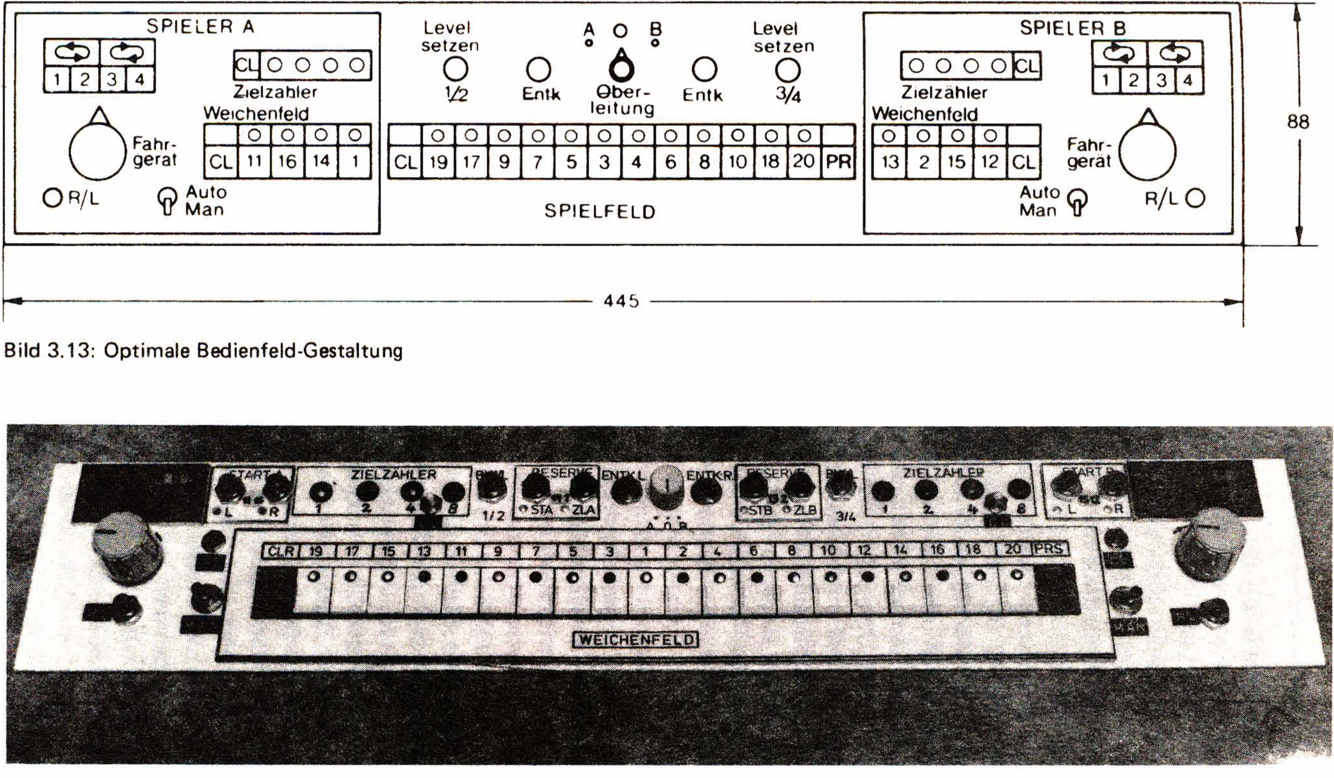


Bild 3.13: Optimale Bedienfeld-Gestaltung

Bild 3.14: Foto einer praktischen Ausführung des Bedienfeldes

3.6 Aufbau und Inbetriebnahme der Anlage

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über den Zusammenbau der Elektronik für eine Modellbahn-Anlage nach Bild 3.5, wobei das Austesten und die Inbetriebnahme der Anlage wesentliche Gesichtspunkte sind. Zum Aufbau des Schienennetzes soll dabei nur wenig gesagt werden, da dieses als bekannt vorausgesetzt werden kann. Es sei lediglich darauf hingewiesen, daß es sehr nützlich ist, den geplanten Verlauf der Schienen auf Ober- und Unterseite der Montageplatte aufzuzeichnen, damit man die Anschlußdrähte der Weichen von unten leichter findet und nach Montage der Signale deren Zugehörigkeit leichter lokalisieren kann. Das Verfahren, wie man das Schienennetz auf die Unterseite zeichnet, sei hier kurz beschrieben.
Nachdem man ein maßstabgerechtes Schienennetz gezeichnet hat und die Größe der Montageplatte festliegt, belegt man die Oberseite, auf der die Schienen später aufgebaut werden sollen, zunächst mit Kohlepapier mit der Schichtseite nach unten; darauf legt man dünnes Schreibpapier, das man meist aus Einzelseiten zusammenkleben muß.
Dann wird das Schienennetz auf dieser zusammenhängenden Papierauflage vollständig aufgebaut und zusammengesteckt, wobei Brücken und Überführungen etc. unberücksichtigt bleiben, d.h. man legt die Schienen an diesen Stellen einfach übereinander. Nun bringt man dieses Schienennetz in die endgültige Position auf der Montageplatte und umfährt die Schienenränder mit einem nicht zu spitzen Bleistift oder Kugelschreiber, so daß sich die Umrisse auf der Grundplatte abbilden. Dann werden alle Schienen wieder abgebaut. Man umfährt nun die abgezeichneten Schienenränder auf der zusammenhängenden Papierauflage mit einem Filzschreiber, so daß sich die Ränder auf der Papierrückseite abbilden. Dann werden in drei Ecken der Montageplatte Löcher durchgebohrt, wobei die Papierauflage zweckmäßig an diesen Stellen mit einem Locher vorgelocht wird. An diesen drei durchgebohrten Stellen werden runde Holzpflöcke eingeleimt, die in der Oberseite der Montageplatte ebenbündig verschwinden. Der gebohrte Durchmesser richtet sich nach dem Durchmesser des Rundmaterials, das man in Modellbaugeschäften bekommt. 4 mm stellt ein gewisses Optimum dar. Die Holzpflöcke ragen auf der Unterseite der Montageplatte einige mm heraus und dienen als Bezugspunkte für das auf das Papier abgepauste Schienennetz. Dieses Schienennetz wird nun auf die Unterseite der Montageplatte gepaust, indem man die Unterseite mit Kohlepapier belegt und die Schienenumrisse auf der zusammenhängenden Papierauflage umfährt, so daß diese Umrisse sich auf die Montageplatte übertragen. Von entscheidender

Bedeutung ist das Durchpausen „richtig herum", wozu die Papierauflage mit der Schienennetzzeichnung an den drei vorgelochten Ecken in die Holzpflöcke einrasten muß. Nach dem Durchpausen wird alles Papier entfernt und der Zwischenraum zwischen den Schienenbegrenzungslinien mit grauschwarzer Farbe und einem Aquarellpinsel ausgemalt. Auf diese Weise entsteht auf der Ober- und Unterseite das deckungsgleiche Schienennetz, das für die weiteren Aufbauten sehr nützlich ist und diese ganz wesentlich erleichtert.

Die Montageplatte, deren Größe und Dicke sich nach dem verwendeten Modellbahn-Maßstab richtet, wird nun an den Außenkanten mit einem Versteifungsrahmen von 10 . . . 15 cm Breite versehen, so daß sich die Stabilität des ganzen Aufbaues wesentlich erhöht. Für Märklin-Miniclub-Anlagen reicht eine Platte von 1 x 2 m aus, und als Material eignet sich eine Holzspanplatte von 15 mm Dicke sehr gut. Man erhält bei diesem Modellbahn-Maßstab eine durchaus transportable Anlage, die, mit anschraubbaren Beinen versehen, ein tragbares Modellbahnspiel ergibt.

Der nun erfolgende Aufbau des Schienennetzes auf der Montageplatte und die Landschaftsgestaltung kann als bekannt vorausgesetzt werden. Es sollen nur zwei Warnungen ausgesprochen werden:

1. Der mechanische Aufbau des Schienennetzes ist erst abgeschlossen, wenn ein Zug bei Anschluß aller Blöcke an ein einziges Fahrgerät alle Strecken mit Ausnahme der Wendeschleifen ohne Entgleisung passiert. Die beiden Trennstellen der Wendeschleifen müssen beim Befahren wahlweise zum jeweiligen Nachbarblock hin überbrückt werden. Vor der Ausrüstung mit Elektronik sollte das gesamte Schienennetz auf Befahrbarkeit hin geprüft werden, da später notwendige Umbauten erheblich schwieriger sind. Schwierigkeiten können z.B. durch zu große Steigungen (die Lok dreht durch) oder enge Kurven ohne genügende Überhöhung (der Zug entgleist durch die Fliehkraft) auftreten. Vor dieser Prüfung sollten alle Weichenzuleitungen an geeigneter Stelle durch eine Bohrung auf die Unterseite der Montageplatte durchgeführt werden, damit sie den Zugprobelauf nicht behindern. Für diesen Zugprobelauf werden alle Weichen mechanisch, d.h. von Hand, in die gewünschte Stellung gebracht.
2. Außer einem nicht deckenden Anstrich der Grundplatte, der möglichst die Schienenverläufe noch sichtbar lassen sollte, wird empfohlen, keine weitere Dekoration anzubringen, bis die Anlage vollständig aufgebaut und funktionsfertig ist. Dies erleichtert den Aufbau und eventuell notwendige spätere Änderungen ganz erheblich.

Nachdem der Schienenunterbau mit allen Rampen, Brücken, Überführungen usw. fertiggestellt ist, und das Schienennetz darauf befestigt wurde, werden

die Hauptsignal-LED's möglichst dicht an den Trennstellen direkt in 3-mm-Bohrungen in die Grundplatte gesteckt, wobei die Zuleitungen mit verschiedenen farbigen Litzen verlängert werden, um die elektrischen Anschlüsse zu erleichtern. Die gesamte Anschlußelektronik nach Bild 2.18 wird auf einer 5poligen Lötösenleiste in unmittelbarer Nähe der LED-Anschlüsse untergebracht und an die +5-V-Stromversorgung angeschlossen. Alle Signale können dann unmittelbar getestet werden, indem man E in Bild 2.18 an +5V anschließt. Im Moment der Verbindung muß das Signal von grün auf rot wechseln.
Nach diesen Vorarbeiten kann mit der Montage und Verdrahtung der eigentlichen Elektronik begonnen werden. Bevor die Platinen eingebaut werden, muß ein mehrere cm breites Kupferband vom Netzteil im geeigneten Zick-Zack-Kurs quer durch die Anlage gelegt werden, damit man eine klar definierte Masseverbindung hat. Die Elektronik-Platinen werden nun auf Isolierbolzen so angeschraubt, daß sich eine kurze Verbindung zu dieser Masseleitung ergibt. Die ungefähre Lage der Platinen und das Erdungsband zeigt *Bild 3.15.* Bevor nun die Verdrahtung begonnen wird, müssen alle Signal- und Weichenzuleitungen genau beschriftet werden, damit die Verdrahtung nach Tabelle 13 und 14 erfolgen kann. Diese wird mit 0,5 mm isoliertem Schaltdraht in verschiedenen Farben ausgeführt, wobei man gleich zu Beginn die Farben festlegen sollte, z.B. orange = +5V, schwarz = Masse, rot = Signalzuleitungen, gelb = Weichenstromversorgung, grün = –5V, violett = Fahrspannung 1, weiß = Fahrspannung 2, blau = Weiche setzen, braun = Weiche rücksetzen, usw.
Bei der Reihenfolge der Verdrahtung sollte man zuerst die Fahrgeräte-Anschlüsse mit den Relaisplatinen an die vier Blöcke anschließen, dann die Richtungsfühler-Elektronik verdrahten und schließlich die Weichen anschließen. Die Wendeschleifen mit ihren Richtungslichtschranken und Elektroniken kommen erst ganz zum Schluß. Wichtig ist ferner, daß eine Funktionsgruppe geprüft wird, sobald die Verdrahtung an dieser Stelle fertig ist. Dies ist nicht nur viel interessanter, als wenn man die Anlage erst nach abgeschlossener Verdrahtung austestet, sondern auch besser, weil man Fehler sofort erkennt und diese beim nächsten Verdrahtungsabschnitt vermeidet. Gute Dienste beim Austesten der Anlage bilden ein Logik-Prüfstift und ein Voltmeter mit Nullpunkt in der Mitte, so daß positive und negative Spannungen ohne Umpolen der Anschlüsse meßbar sind. Aus Platzgründen muß eine nähere Beschreibung des Aufbaues unterbleiben, zumal es eigentlich nur darum geht, systematisch vorzugehen und das bereits gesagte zu beherzigen. Die Schienenseite der Prototyp-Anlage zeigt *Bild 3.16.*

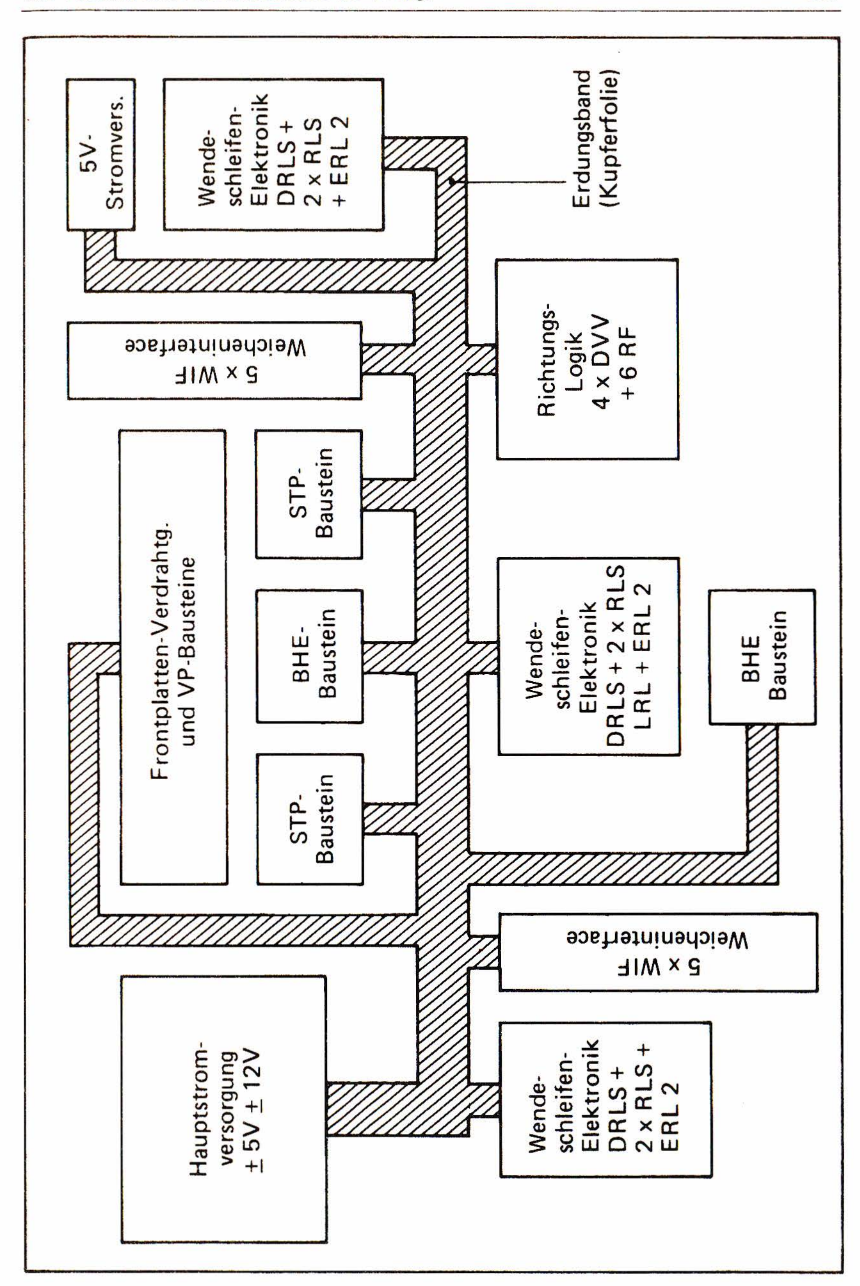


Bild 3.15: Montage der Elektronik auf der Unterseite der Anlage

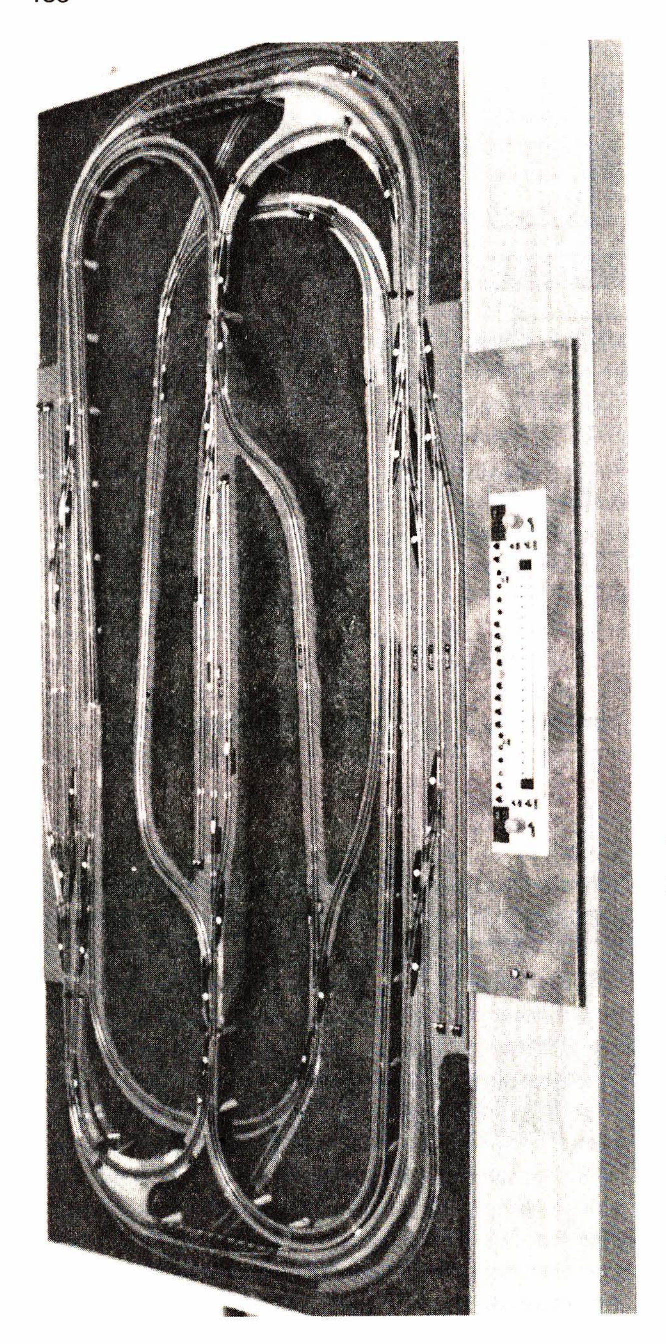


Bild 3.16: Gleisansicht der Prototyp-Anlage (Foto)

4 Übersicht über die verwendeten Halbleiter-Bauteile

Im folgenden Kapitel sollen die verwendeten Halbleiter-Bauteile mit ihren wichtigsten Eigenschaften zusammenfassend dargestellt werden. Neben den Dioden und Transistoren werden die verwendeten Operationsverstärker und Digital-ICs in den Eigenschaften erklärt, die für die hier beschriebenen Anwendungen von Interesse sind. Außerdem werden die verwendeten optoelektronischen Bauteile zusammenfassend beschrieben. Dieses Kapitel muß aus Platzgründen sehr knapp gehalten werden, soll jedoch alle Informationen enthalten, die der Praktiker beim Nachbau der hier angegebenen Schaltungen braucht.

4.1 Dioden

Dioden dienen bekanntlich als Stromventil. Je nach den benötigten Strömen werden hier drei verschiedene Silizium-Dioden verwendet. Die *Tabelle 15* gibt eine Übersicht über die wichtigsten Daten. Wichtig bei der Anwendung ist das Anschließen in der richtigen Richtung, das *Bild 4.1* zeigt. Soll Strom durch die Diode fließen, so muß an dem Drahtende, das mit einem Ring am Gehäuse gekennzeichnet ist, der Minuspol liegen.
Z-Dioden sind Dioden, die eine definierte Durchbruchspannung haben, wenn sie in Sperr-Richtung betrieben werden. Sie müssen immer mit einem Vorwiderstand betrieben werden, um den Sperrstrom auf die zulässige Größe zu beschränken. In Flußrichtung verhalten sie sich wie normale Dioden. In den beschriebenen Schaltungen werden die 400 mW-Typen (ZPD-Reihe) eingesetzt. Die Bezeichnung ZPD 5,6 bedeutet eine Z-Diode mit 400 mW Verlustleistung und 5,6V Durchbruchspannung. Eine solche Diode kann dann z.B. zur Erzeugung einer Bezugsspannung von 5,6V eingesetzt werden.

Diode	1N4148	1N4001	1N5401
max. Sperrspannung	100V	100V	100V
max. Strom in Flußrichtung	225mA	1A	3A
Durchlaßspannung	0,4 . . . 1V	0,6 . . . 1V	0,7 . . . 1V

Tab. 15: Übersicht über gebräuchliche Dioden

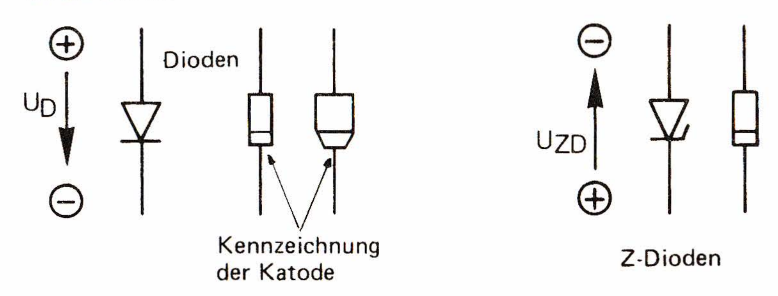


Bild 4.1: Prinzip und Anschlußtechnik von Dioden

4.2 Transistoren

Unter der Fülle der heute verfügbaren Transistoren wurden nur drei Universaltypen ausgesucht, die sehr preiswert und als Komplementär-Typen überall erhältlich sind. Komplementär wird hier im Sinne der Leitfähigkeit verstanden: wie *Bild 4.2* zeigt, gibt es PNP- und NPN-Typen, wobei die Emit-

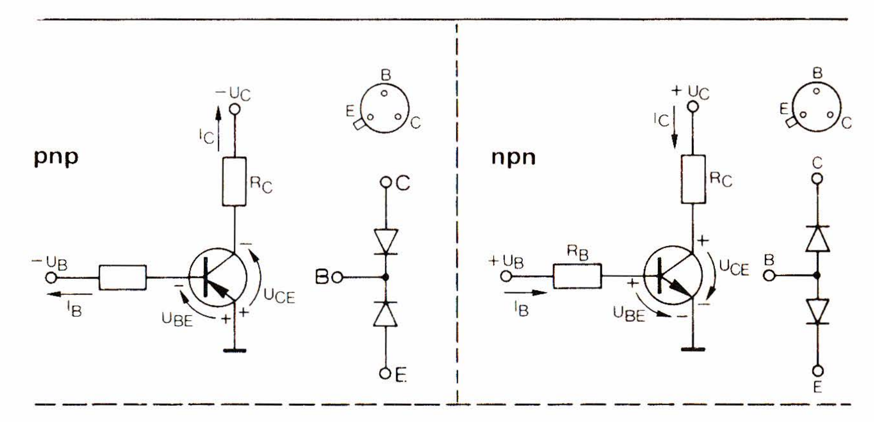


Bild 4.2: PNP- und NPN-Transistoren und Ersatzschaltbilder mit Erklärung von U_{CEmin} und U_{BE}

Berechnung von R_B für U_{CEmin}:

Stromverstärkung $B = \frac{I_C}{I_B}$; $I = \frac{U_C}{R_C}$; $R_B = \frac{U_B}{I_B}$; $= \frac{U_B}{U_C} \cdot R_C \cdot B$

mit $U_B = U_C$ ist $\underline{\underline{R_B = R_C \cdot B}}$

Bezeichnung	BC108C	BC178C	BC140-16 (BC141-16)	BC160-16 (BC161-16)	BD241 (BD243C)	BD242 (BD244C)
Typ	NPN	PNP	NPN	PNP	NPN	PNP
U_{CEo}	20V	25V	40V(60V)	40V(60V)	45V(100V)	45V(100V)
U_{CEmin}	ca.0,2V	ca.0,2V	ca. 0,2V	ca. 0,2V	ca. 0,8V	ca. 0,8V
U_{EBo}	5V	5V	7V	7V	10V	10V
P_{tot}	0,3W	0,3W	1W	1W	40W(65W)	40W(65W)
I_{Cmax}	200mA	200mA	1A	1A	3A(6A)	3A(6A)
B_{min}	100	100	100	100	25(15)	25(15)

Tab. 16: Kurzdaten gebräuchlicher Transistoren

terschaltung von PNP-Typen positive Versorgungsspannungen und von NPN-Typen negative Versorgungsspannungen benötigen. Demgemäß ist auch das oft verwendete Ersatzschaltbild mit den beiden Diodenstrecken von entgegengesetzter Polarität.
Wichtig ist für einige der vorstehend beschriebenen Schaltungen die Kollektor-Emitter-Restspannung U_{CEmin}, die wegen der gegeneinander geschalteten Diodenstrecken bei voll durchgesteuertem Transistor in der Gegend von OV sein müßte. Die in *Tabelle 16* angegebenen Transistoren haben Werte zwischen 0,2 . . . 0,8V. Wenn dieser Wert für die Funktion der Schaltung wichtig ist, muß er gemessen werden. Dies erfolgt gemäß Bild 4.2, wobei darauf zu achten ist, daß der Basisstrom zur Durchsteuerung des Transistors ausreichend groß sein muß. Erst wenn eine Verkleinerung des Basiswiderstandes keine wesentliche Verringerung der Restspannung bringt, ist dies der Fall.
Neben dieser Kollektor-Emitter-Restspannung ist in vielen Anwendungsfällen die Basis-Emitter-Sperrspannung U_{EBo} von großer Bedeutung, nämlich immer dann, wenn die Basisspannung so gepolt ist, daß sie zur Sperrung der Basis-Emitter-Diode führt. Dies ist bei PNP-Transistoren in Emitterschaltung für positive Spannungen an der Basis und bei NPN-Transistoren für negative Spannungen zutreffend. Wie in Tabelle 16 bereits angegeben, beträgt diese maximal mögliche Sperrspannung nur einige Volt. In Schaltungen, wo höhere Spannungen auftreten können, müssen diese Transistoren durch vorgeschaltete Dioden geschützt werden. Dies ist z.B. bei den PVM/NVM-Bausteinen geschehen.

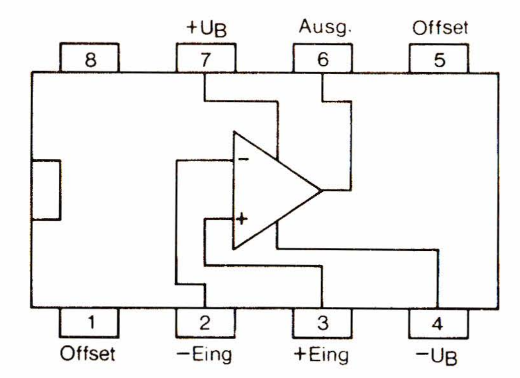


Bild 4.3: Sockelanschlüsse des 741/TL081C – OpAmp

4.3 Operationsverstärker (OpAmps)

Unter der Fülle der verfügbaren Operationsverstärker wurde hier nur ein einziger Typ herausgesucht, der wohl der am weitesten verbreitete ist: der Typ 741. Als Gehäuse wurde das 8polige Dual-In-Line-(DIL-)Gehäuse verwendet (741CP), das in der Praxis leichter zu handhaben ist als die runde Ausführung. Die Lage der Anschlüsse geht aus *Bild 4.3* hervor. Die einzige Grenzdaten-Angabe, die man beachten sollte, ist die Angabe der maximalen Betriebsspannung, die bei diesem Typ 18V nicht überschreiten darf. Mit dieser Betriebsspannung kann man Ausgangsspannungsamplituden von mindestens ±15V erzielen.

Obwohl beim 741 meist nur ±15V Betriebsspannung angegeben wird, sind ±18V ohne Probleme zu verkraften. Wer jedoch unbedingt die ±18V als Spezifikation des Herstellers sehen will, kann den Typ TL081CP verwenden, der mit seinen Anschlüssen zum 741 identisch ist und in die Platinen-Layouts ohne Änderung hineinpaßt. Bei diesem Verstärker handelt es sich um einen OpAmp in J-FET-Technik, die Eingangs-Widerstände von 10^{12} Ohm ermöglicht. Dies ist jedoch für die in diesem Buch beschriebenen Schaltungen nicht notwendig; sie arbeiten mit beiden Typen gleich gut.

4.4 Digitale integrierte Schaltungen

Die in den beschriebenen Schaltungen verwendeten Digital-IC's gehören zur TTL-(= Transistor-Transistor-Logik)-Familie. Es wurde absichtlich diese relativ alte Familie verwendet, da sie am weitesten verbreitet, leicht zu

handhaben und sehr zuverlässig ist. Der Nachteil des relativ hohen Stromverbrauches fällt hier nicht ins Gewicht, weil nur geringe Stückzahlen benötigt werden, und sich der Stromverbrauch so in Grenzen hält.
Vor der Erläuterung der hier verwendeten ICs werden einige Grundelemente der Digitaltechnik erklärt, um dem Anfänger den Einstieg zu erleichtern.
In der Digitaltechnik werden alle Vorgänge durch nur zwei Spannungspegel beschrieben, die man mit 0 und L bezeichnet. Je nachdem, welche Pegel

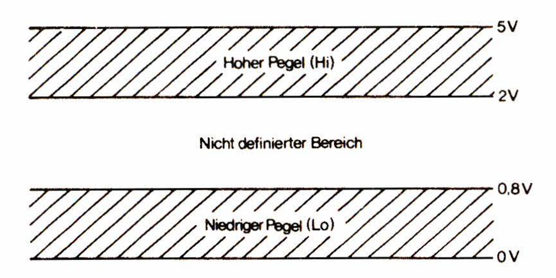


Bild 4.4: Logik-Pegel bei TTL

man diesen Zuständen zuordnet, spricht man von positiver oder negativer Logik. In der hier verwendeten TTL-Logik liegen die Pegel zwischen 0 und +5V. Man definiert einen niedrigen Pegel (=Lo), der zwischen 0 und 0,8V liegt und einen hohen Pegel (=Hi), der zwischen 2V und 5V liegen darf *(Bild 4.4)*. Dazwischen liegt ein vom Logik-Zustand nicht definierter Bereich, der in der Praxis unbedingt vermieden werden muß. Positive Logik bedeutet nun, daß der L-Zustand dem hohen Pegel (=Hi) entspricht und der O-Zustand dem niedrigen Pegel (=Lo). Negative Logik bedeutet, daß der L-Zustand dem niedrigen Pegel (=Lo) entspricht und der O-Zustand dem hohen Pegel (=Hi).
Eine gewisse Schwierigkeit ist nun in der Praxis, daß derselbe Baustein sowohl für positive als auch für negative Logik verwendet werden kann. So wird z.B. der Baustein 7400 in der WIF-Schaltung als negiertes UND verwendet, in der BHE-Schaltung jedoch als ODER. Aus diesem Grunde haben wir in diesem Buch nur von Hi- und Lo-Pegeln gesprochen und uns nicht darum gekümmert, was logisch O und logisch L ist. Der folgende Abschnitt gibt eine Übersicht über die hier verwendeten acht ICs, die gewissermaßen als Grundbausteine der TTL-Technik anzusehen sind, da man mit ihnen praktisch alles machen kann.

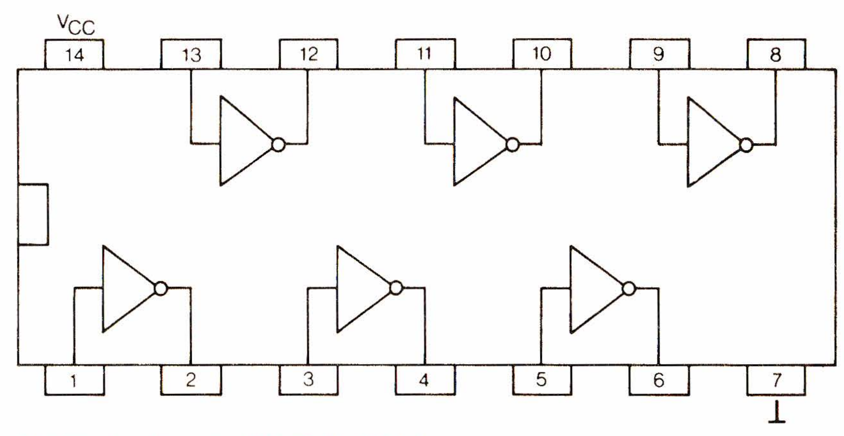


Bild 4.5: Anschlüsse des NICHT 7404/7414

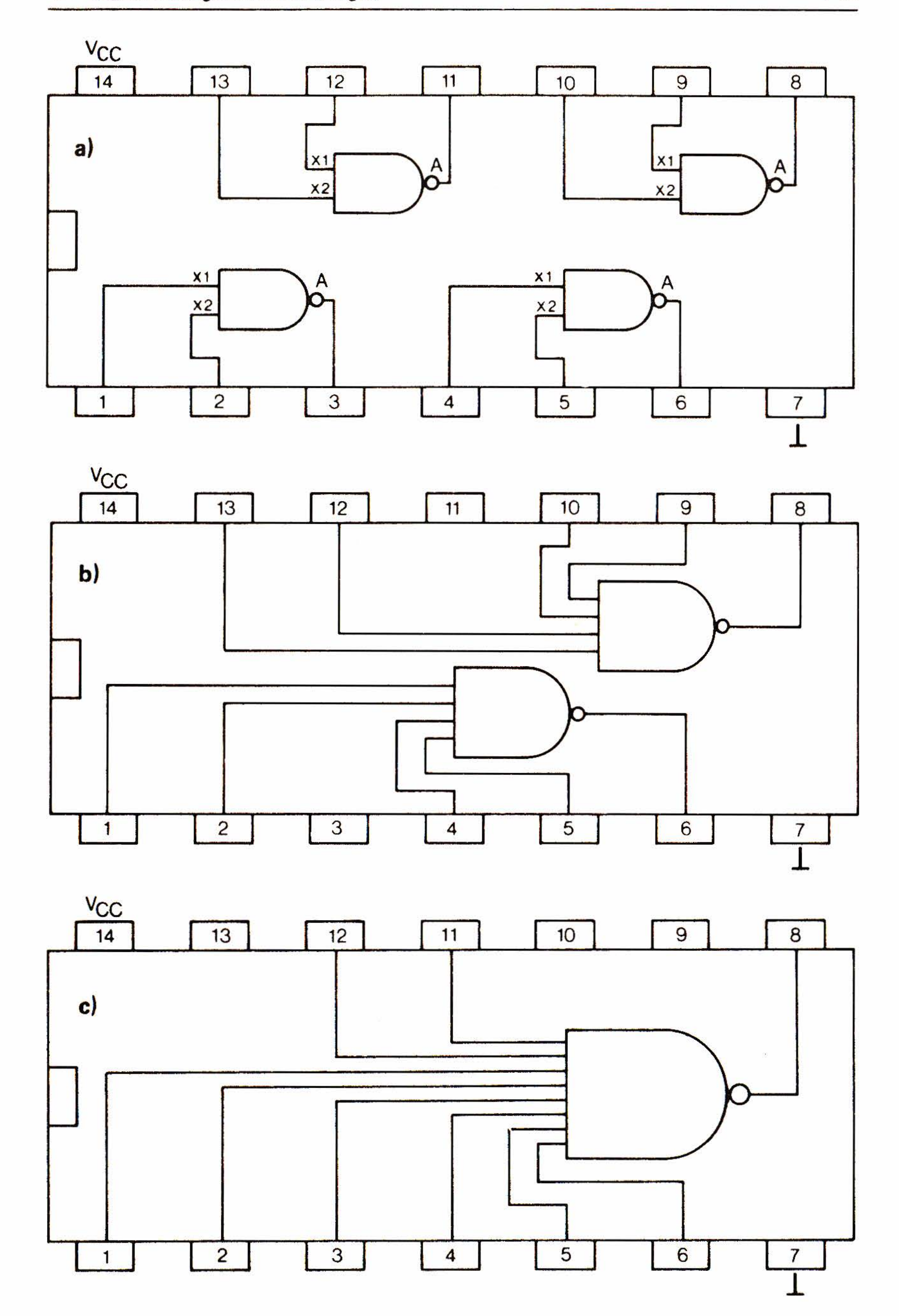
4.4.1 Die NICHT-Schaltung (NOT)

Diese auch als Inverter bezeichnete Schaltung macht aus einem Hi am Eingang ein Lo am Ausgang und umgekehrt. Das IC 7404 hat sechs solcher Schaltungen in einem Baustein, dessen Anschlüsse in *Bild 4.5* gezeigt sind. Dieses IC, das praktisch nur aus sechs als Inverter geschalteten Verstärkern besteht, wird durch ein IC 7414 ergänzt, das sechs Schmitt-Trigger enthält und damit bei langsamem Überschreiten des Eingangsschaltpegels plötzlich umschaltet. Dieses IC hat dieselbe Anschlußbelegung wie das 7404.

4.4.2 Die NAND-Schaltung (NAND-Gate)

Dieses IC bildet die Grundschaltung der Logik-Verknüpfungen. Es besteht aus einem UND mit nachgeschaltetem Inverter. Da die meisten Speicher-Flip-Flops durch Kontaktschluß nach Masse geschaltet werden, wollen wir hier das NAND verwenden. Wir nehmen den 7400-Baustein mit zwei Eingängen, den 7420-Baustein mit vier Eingängen und den 7430-Baustein mit acht Eingängen. Da die Sockel immer 14 Anschlüsse haben, passen in ein IC vier, zwei oder ein Gatter. Die Sockel-Anschlüsse sind aus *Bild 4.6* ersichtlich, wobei neben den Sockeln auch die als Wahrheitstabelle bezeichneten Logik-Funktionen abgebildet sind.

Bild 4.6: NAND-Gatter a) 7400, b) 7420, c) 7430 →



VCC
14
13
12
11
10
9
8
a)
x1
x2
A
1
2
3
4
5
6
7
b)
c)

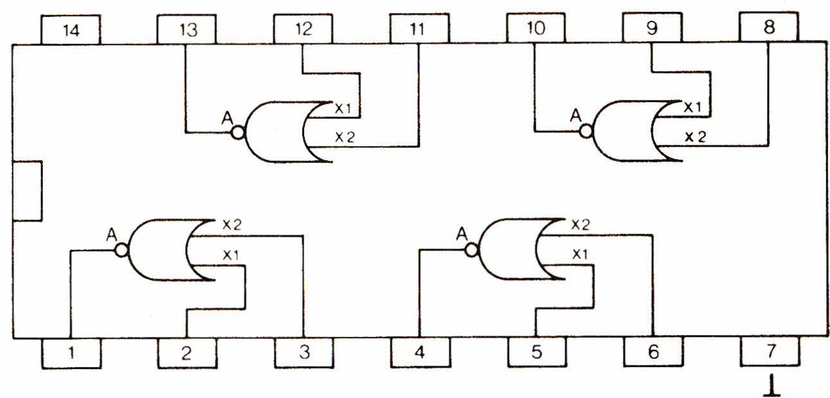


Bild 4.7: NOR-Gatter 7402

Funktionstabelle (Wahrheitstabelle) 7400

Eingänge X_1	X_2	Ausgang A
Lo	Lo	Hi
Lo	Hi	Hi
Hi	Lo	Hi
Hi	Hi	Lo

Funktionstabelle (Wahrheitstabelle) 7402

Eingänge X_1	X_2	Ausgang A
Lo	Lo	Hi
Lo	Hi	Lo
Hi	Lo	Lo
Hi	Hi	Lo

4.4.3 Die NOR-Schaltung (NOR-Gate)

Die NOR-Schaltung dient zum Mischen zweier Eingänge, die beide dasselbe bewirken sollen: wenn beide Lo sind, ist der Ausgang Hi. Mit dieser Eigenschaft kann man Flip-Flops setzen oder sperren. Schaltungstechnisch ist dieser Logik-Baustein ein ODER mit nachgeschaltetem Inverter. Wir verwenden den 7402-Baustein, dessen Sockelanschlüsse und Logik-Funktion aus *Bild 4.7* hervorgehen.
In einem Baustein sind vier NOR-Gatter untergebracht.

4.4.4 Das Zweifach-J-K-Flip-Flop

Unter den zahlreichen Flip-Flop-Bausteinen verwenden wir das Zweifach-J-K-Flip-Flop 7476, weil es von negativen Flanken, d.h. in unserem Fall Kontaktschlüssen nach Masse, geschaltet wird und pro FF fünf Eingänge hat:

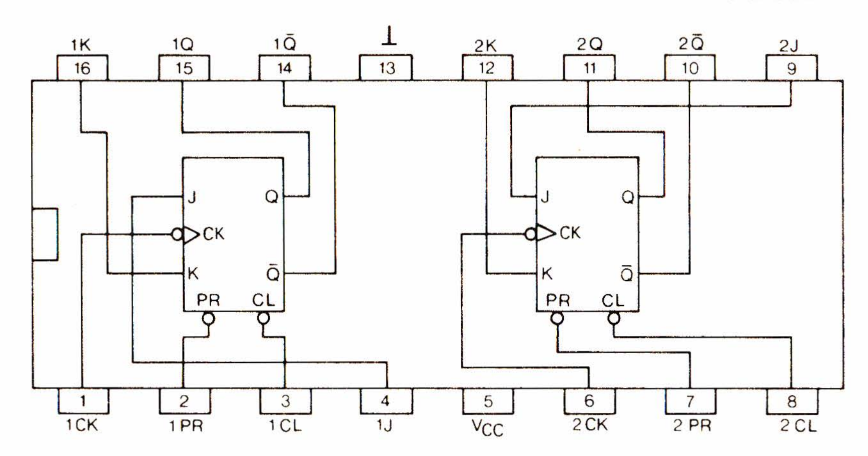


Bild 4.8: Dual-J-K-FF 7476

Funktionstabelle

Eingänge					Ausgänge	
PR	CL	CK	I	K	Q	$\bar{Q}$
Lo	Hi	X	X	X	Hi	Lo
Hi	Lo	X	X	X	Lo	Hi
Lo	Lo	X	X	X	Hi	Hi [1])
Hi	Hi	⌊	Lo	Lo	Q_0	$\bar{Q}_0$ [2])
Hi	Hi	⌊	Hi	Lo	Hi	Lo
Hi	Hi	⌊	Lo	Hi	Lo	Hi
Hi	Hi	⌊	Hi	Hi	$Q_0 + 1$	$\bar{Q}_{0+1}$ [3])

X = Hi oder Lo
[1] = Nur so lange Hi wie PR und CL gleichzeitig Lo sind.
[2] = Q_0, $\bar{Q}_0$ ist der vor dem CK-Impuls bestehende Zustand, d.h. das FF bleibt unverändert
[3] = Q_{0+1}, $\bar{Q}_{0+1}$ ist der nächstfolgende Zustand, d.h. das FF ändert seinen bistabilen Zustand mit jedem CK-Impuls

zwei unbedingte, d.h. solche, die das FF unter allen Umstanden schalten und drei miteinander verknüpfte, die nur unter bestimmten Bedingungen den Schaltzustand ändern. Die Logik-Verknüpfung und Sockelanschlüsse gehen aus *Bild 4.8* hervor. Neben der Triggerung durch die negative Logik

kann dieser FF-Baustein auch sehr vorteilhaft für Serienschaltungen im Master-Slave-Betrieb verwendet werden, wie wir es in den Schaltungen Bild 2.29 und Bild 2.34 bereits gesehen haben. Hier wird eine gerichtete Logik-Änderung durch den Takt an 2CK erzielt, wobei die Richtung durch die Position des ersten FF vorgegeben wird. Wir können bei diesen FFs drei völlig getrennte Steuerleitungen vorsehen: eine, die das FF immer setzt, eine, die das FF immer löscht und eine, die das FF wechselt oder, wie im Master-Slave-Betrieb bereits angedeutet, in denjenigen Zustand schaltet, der durch die J- und K-Eingänge vorgegeben wird. Dieses FF ist für alle unsere Anwendungen am besten geeignet.

4.4.5 Monostabiler Multivibrator (Monoflop)

Diese Schaltungen gehören zur Gruppe der Signal-Konditionierer. Wir verwenden diese Schaltung, um einen Schaltimpuls bestimmter, zeitlich begrenzter Länge zu erzeugen; er beginnt, sobald das Monoflop durch einen Kontaktschluß nach Masse gestartet wurde. Das Monoflop 74121 enthält drei Eingänge: zwei ODER-Eingänge, die über ein zusätzliches UND mit Schmitt-Trigger-Funktion verknüpft sind. Die Funktionstabelle und Lage der Anschlüsse geht aus *Bild 4.9* hervor. Wir verwenden dieses Monoflop praktisch nur in Schaltung Bild 2.34, wobei der E-Eingang E das Mono-

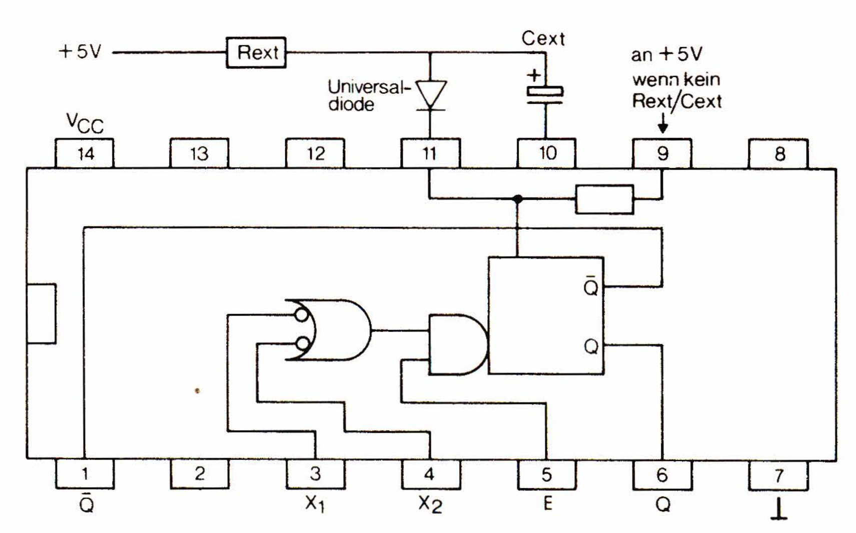


Bild 4.9: Monoflop 74121

Funktionstabelle

Eingänge			Ausgänge	
X_1	X_2	E	Q	$\bar{Q}$
Lo	X	Hi	Lo	Hi
X	Lo	Hi	Lo	Hi
X	X	Lo	Lo	Hi
Hi	Hi	X	Lo	Hi
			→T←	→T←
Hi	↓	Hi	⎍	⎎
↓	Hi	Hi	⎍	⎎
↓	↓	Hi	⎍	⎎
Lo	X	↑	⎍	⎎
X	L	↑	⎍	⎎

X = Hi oder Lo
T = 0,7 Rext Cext
To= 100 ns, wenn Rext/Cext ganz weggelassen wird.
Kontakt 9 dann an +5V anschließen!

flop freigibt und PR über einen ODER-Eingang das Monoflop triggert. Die Zeitdauer des Schaltzustandes beträgt ohne externe Beschaltung etwa 100ns, was zur Steuerung von FFs ohne weiteres ausreicht. Durch externe Beschaltung in der angegebenen Weise kann der Zeitimpuls bis zu 28 s verlängert werden, wobei die Formel

$$t = 0{,}7 \cdot RC$$

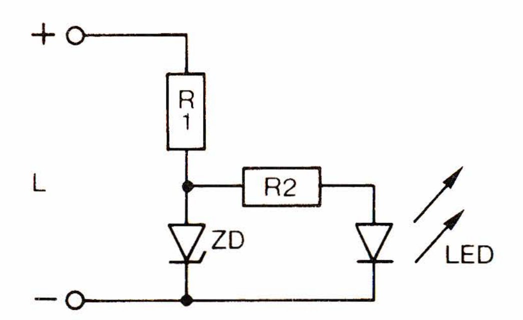
gilt. Die Widerstände dürfen dabei von 2 . . . 40KΩ und die Kapazitäten von 10pF . . . 10μF verändert werden. Dieser Monoflop-Baustein kann nur einmal pro Zeitablauf gestartet werden, d.h. er „schluckt" ein Kontaktprellen am Setz-Eingang.

4.5 Optoelektronische Bauteile

Dieser letzte Abschnitt gibt eine ganz knappe Übersicht über die verwendeten Optoelektronik-Bauteile.

4.5.1 Lichtemittierende Dioden (LEDs)

Diese kleinsten in Großserie hergestellten Leuchtkörper sind in roter, grüner und gelber Leuchtfarbe erhältlich. Die roten LEDs gibt es auch in einer Sonderversion mit großer Leuchtkraft und geringem Stromverbrauch: bei 10mA und 1,5V wird die günstigste Lichtausbeute erreicht (HP HLMP1300). Diese LED gibt es auch im glasklaren Flachgehäuse mit Frontlinse zur Richtung des Lichtstrahles, die wir bereits für die Richtungs-Lichtschranke in Bild 3.9 verwendet haben. Die Typenbezeichnung ist HP HEMT6000. Die gelben LEDs brauchen in der Regel mehr Strom (etwa 20mA bei 2,5V Durchlaßspannung) die grünen sogar 30mA bei 2,5V Durchlaßspannung, um ausreichend hell zu leuchten. In der Schaltung Bild 2.18 kann es notwendig sein, daß mehrere Dioden D1 oder eine Z-Diode in Serie geschaltet werden muß, um eindeutiges Umschalten bei der Hi/Lo-Flanke zu erreichen, da die Vorwärtsspannung der LED von Typ zu Typ stark schwanken kann. Ferner ist für die Überlastungsanzeige im PVM/NVN-Baustein eine Schutzschaltung nach *Bild 4.10* zweckmäßig, um bei hohen Eingangsspannungen und ausgangsseitigem Kurzschluß den Strom durch die LED zu begrenzen.



R_1 = 220Ω / 1 W

R_2 = 100 . . . 330Ω, je nach LED

ZD = ZPD 5,6

Bild 4.10: Schutzschaltung für LEDs

4.5.2 Lichtschranken-Empfänger

Der hier verwendete Lichtschranken-Empfänger ist ein NPN-Silizium-Fototransistor mit angegossener Frontlinse und außerordentlich kleinen Abmessungen. Die Grundfläche ist ein Quadrat von 2 x 2 mm, die Dicke ist ohne Linse 2,7 mm. Die Lichtempfindlichkeit ist im gesamten sichtbaren Be-

reich gegeben, so daß auch das rote Licht der LED HP HEMT6000 als Lichtquelle für Gabellichtschranken herangezogen werden kann.
Bild 4.11 zeigt die verschiedenen hier verwendeten LEDs und den Fototransistor im Größenvergleich.

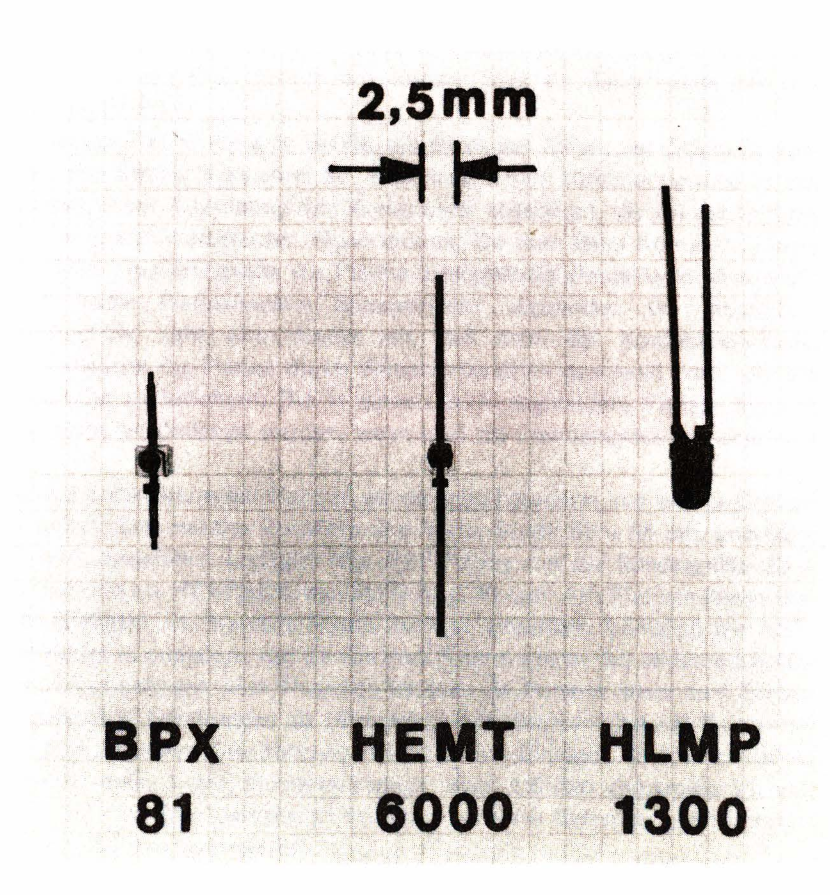


Bild 4.11: LEDs und Fototransistor im Größenvergleich

Anhang:

Hinweise auf die Herstellung der Platinen und deren Einsatz für andere Aufgaben

Zu den Platinen

Alle Platinenentwürfe sind auf gesonderten Seiten mit freier Rückseite wiedergegeben, so daß eine direkte Kontaktkopie möglich ist. Diese Technik erfordert die Wiedergabe einer Seite in Spiegelschrift. Um gewissermaßen mit dem ersten Blick darauf hinzuweisen, trägt die Bauteileseite den Namenszug ELTOY.
Die fertige Platine hat eine Größe, die durch das Innere der dicken Umrandung der Entwürfe gegeben ist. Außerhalb dieser Umrandung sind in unsymmetrischer Anordnung drei Kreispunkte abgebildet, die bei der fertigen Platine genau übereinander liegen müssen. Da man beim Kontaktkopieren der Ober- und Unterseite die Platine zwangsläufig einmal umdrehen muß, sind beide Platinenseiten seitenverkehrt abgebildet. Die Reproduktionstechnik geht also davon aus, daß nach der Kontaktbelichtung der Oberseite die Platine durch Seitenvertauschen gewendet wird, um die Unterseite zu belichten. Die in diesem Buch abgebildete Vorlage braucht also nicht gewendet zu werden, wenn man die Platinenunterseite belichten will.
Bei der Entwicklung der Platinen wurde darauf geachtet, nur wenige Größen zu haben. Die meisten Entwürfe sind in der Größe 85 x 55 mm und 65 x 45 mm ausgeführt. Lediglich die REF-Platine hat die Sondergröße 35 x 35 mm und die HST-Platine die Größe 45 x 40 mm. Alle Platinen lassen sich mit Gießharz in Standard-Modul-Gehäuse eingießen. Lediglich die HST-Platine ist so ausgelegt, daß sie von dem Potentiometer mit seinen 6 Lötfahnen direkt getragen wird. Natürlich ist dazu ein Potentiometer zum Einbau in gedruckte Schaltungen zu verwenden. Alle Platinen sind auf Rastermaß 2,5 mm ausgelegt. Die Bohrungen sind in drei Gruppen unterteilt: kleines Viereck: max. 1 mm, mittleres Viereck: max. 1,5 mm und großes Viereck max. 1,7 mm. Die Vierecke an den Ecken sind zur Befestigung mit Bohrungen von 3,2 mm zu versehen.
Als Anschlußstifte sind die üblichen Kontaktstifte zu verwenden, wobei der Anwender selbst entscheiden kann ob er Wire-Wrap oder Lötstifte nimmt.

Einsatz der Platinen für andere Aufgaben:

Dem aufmerksamen Leser wird aufgefallen sein, daß in diesem Buch Baugruppen verwendet werden, die ziemlich universell für viele andere programmierbare Probleme einsetzbar sind. Die nachfolgende Tabelle gibt hierfür ein paar Anregungen.

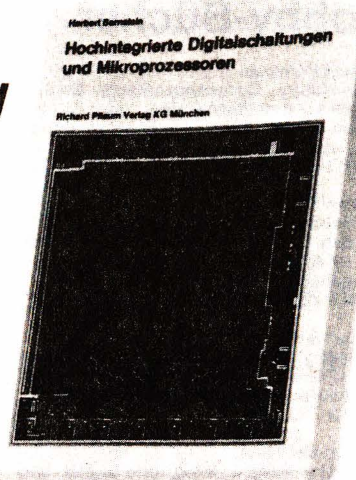
Baustein	Anwendung	zusätzlich wird benötigt
STP + PVM + NVM	Programmierbare bipolare Stromversorgung	Digital-Analog-Konverter (DAC)
	Elektronisches Leistungsrelais	keine Zusatzbausteine nötig
VP + WIF	Steuerung von magnetisch betriebenen Einheiten, wie Magnetventile, pulsgesteuerte Relais, Dosierpumpe etc.	keine Zusätze nötig
RLS/DRLS	Berührungsloses Abtasten von Bewegungsrichtungen, z.B. Vorwärts/Rückwärts-Lauf drehender Körper, Füllmenge steigend/fallend, Barometerstand steigend/fallend	evtl. werden Loch- oder Schlitzscheiben benötigt
RF	Phasendetektor für zwei Wechselspannungen Umwandlung von symmetrischen Datensignalen (RS422) auf TTL-Logik	keine Zusätze notwendig

Was ist Ihre Meinung zu diesem Buch?

Verehrter Leser!
Wenn Sie an der Weiterenwicklung des in diesem Buch beschriebenen Elektronik-Baustein-Konzeptes interessiert sind oder mehr Unterstützung beim Aufbau Ihres programmierbaren Modellbahnsystems haben wollen, beantworten Sie bitte folgende Fragen an den Autor in einem gesonderten Schreiben. Wenn Sie eine Rückantwort erwarten, legen Sie bitte einen Freiumschlag bei.
Adresse des Autors: Diana Straße 1, 8013 Haar
Bitte vergessen Sie nicht Ihre Anschrift und frankieren Sie den Brief richtig.
Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

1. Welche Schaltungen haben Sie nachgebaut?
   1. PVM/NVM 2. STP 3. HST 4. REF 5. DVV 6. RF 7. VP 8. WIF 9. DRLS 10. RLS 11. LRL 12. ERL1 13. ERL2 14. BHE 15. CTR
2. Traten dabei Schwierigkeiten auf? Wenn ja, welche?
   1. Beim Zusammenbau: Baugruppe?
   2. Beim Austesten: Baugruppe?
   3. Beim Verständnis der Arbeitsweise?
3. Sind fertige Platinen wünschenswert, und wenn ja, welche?
   Bitte geben Sie die Baugruppenbezeichnung an, von der Sie eine Platine kaufen würden und nennen Sie den Betrag, den Sie dafür ausgeben würden!
4. Sind betriebsfertige Baugruppen wünschenswert und wenn ja, welche? Bitte geben Sie die Baugruppenbezeichnung an, von der Sie eine oder mehrere (wie viele?) Exemplare kaufen würden! Bitte bedenken Sie dabei, daß eine fertig ausgetestete Baugruppe mindestens den fünffachen Betrag der Einzelteile kosten würde.
5. Welche Probleme konnten Sie mit dem in diesem Buch dargestellten Konzept nicht lösen? Bitte beschreiben Sie diese kurz.
6. Welche Weiterentwicklung würden Sie besonders begrüßen?
   1. Weitere Elektronik-Baugruppen? Für welche Anwendung?
   2. Beschreibung des Einsatzes eines fertigen Mikrocomputers? Welchen schlagen Sie vor?
   3. Software-Beschreibung für diesen Mikrocomputer? Für welche Anwendung?
7. Sonstige Wünsche?

Das KNOW-HOW der μP-Technik



Herbert Bernstein
Hochintegrierte Digitalschaltungen und Mikroprozessoren

1978. 568 Seiten mit 442 Abbildungen und 215 Tabellen, Kunststoffeinband, DM 85,–. ISBN 3-7905-0272-3

Dieses Buch wurde nicht nur für Programmierer oder Mikroprozessor-Spezialisten geschrieben, sondern auch für Fachleute in der Praxis, Studenten, Ingenieure und technische Kaufleute, die sich künftig mit der hochintegrierten Digitaltechnik und mit Mikroprozessoren auseinanderzusetzen haben. Dementsprechend wurde dieses Buch in 15 aufbauende Kapitel unterteilt, damit es als Leitfaden zum Selbststudium geeignet ist.

In den Kapiteln 1 und 3 wurden die verschiedenen Zahlensysteme, Codes und die Karnaugh-Diagramme vorangestellt, damit der Leser seine Grundkenntnisse auffrischen bzw. ergänzen kann. Im Kapitel 4, Codierer, Decodierer und Umcodierer, erfolgt eine Einführung in die komplexe Digitaltechnik.

Ein umfangreiches Kapitel wurde der digitalen Rechentechnik gewidmet. Jeder Mikroprozessor arbeitet nach den Gesetzen dieser Rechenmethodik. Sind die einzelnen Grundfunktionen verständlich, stellt die Programmierung eines Mikroprozessors für den Praktiker kein besonders schwieriges Problem mehr dar. Die Rechentechnik reicht von der statischen Addition bis zu den komplizierten Multiplikationspyramiden.

Das Kapitel der Halbleiter-Speicher umfaßt die Schieberegister, Schreib-Lese-Speicher (RAMs), Festwertspeicher (ROMs), bis zur Magnetblasen-Speichertechnik.

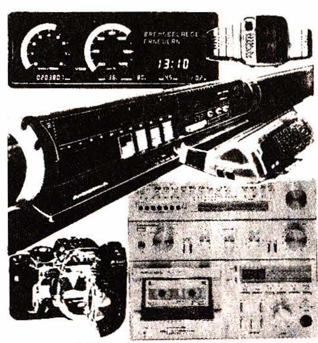
Mit dem Lehr- und Lern-Mikroprozessor der Firma „pro didaktik" wird die Software anhand von Beispielen für die Mikroprozessortechnik gezeigt. Nach diesem Kapitel sind die Software-Probleme dem Praktiker verständlich, so daß mit dem Standard-Mikroprozessor 8080 auf die gesamte Thematik der Mikroprozessoren und deren Peripheriegeräte übergegangen werden kann.



Pflaum Verlag KG · München

Herbert Bernstein

OPTO-HOBBY



Pflaum Verlag · München

Opto-Hobby

Optoelektronische Bauelemente für den Hobbyisten

1981. Ca. 260 Seiten mit ca. 250 Abbildungen, gebunden, ca. DM 44,–
ISBN 3-7905-0341-X

Wer sich mit Elektronik beschäftigt, kommt meistens sofort zur Optoelektronik, zu den Leuchtdioden (LEDs), Flüssigkristallen (LCD), fluoreszierenden Anzeigen und zu der Plasma-Technik. Kennt man die Vor- und Nachteile, den Aufbau und die Anwendung der einzelnen Technologien, ist die praktische Anwendung oder die Fehlersuche kein Problem.

Was ist Optoelektronik?

Gibt man Zahlen in einen Taschenrechner ein, sieht man sofort die einzelnen Werte in einer optoelektronischen Anzeige. Diese kann rot leuchten und man hat dann eine Leuchtdioden-Anzeige. Leuchtet sie dagegen blaugrün auf, hat der Taschenrechner eine fluoreszierende Anzeige. Bei den Flüssigkristall-Anzeigen, den LCD, erkennt man durch den Kontrast zwischen dunkel- und hellgrau den eingegebenen Wert.
Die Optoelektronik ist das Bindeglied zwischen den Menschen und dem Taschenrechner. Der Mensch gibt die Werte ein und kann sofort sehen, ob der Wert richtig ist. Danach löst er die Rechenoperation aus und der Rechner gibt das Ergebnis durch seine optoelektronischen Bauteile sichtbar aus.
Die Optoelektronik hat bereits weite Bereiche im täglichen Leben erobert. HiFi-Anlagen geben Kanal, Uhrzeit und Frequenz digital aus. Radios mit und ohne Weckeinrichtung signalisieren durch die Anzeigen alle möglichen Funktionen. Beim Schachcomputer sieht man die Sprungfolgen auf einer LCD- oder Plasmaanzeige. Das elektronische Cockpit im Kraftfahrzeug, in der Eisenbahn und im Flugzeug gibt nicht nur zahlreiche Informationen aus, sondern sorgt durch ALI für mehr Reisekomfort und Sicherheit.
Neben den vielen Erläuterungen finden Sie in diesem Buch zahlreiche Anregungen zum Nachbau, wobei für den Anfänger einfache und für den Hobbyelektroniker schwierige Schaltungen gezeigt sind. Etwa 40 Bauanleitungen sind erklärt.

Pflaum Verlag, München

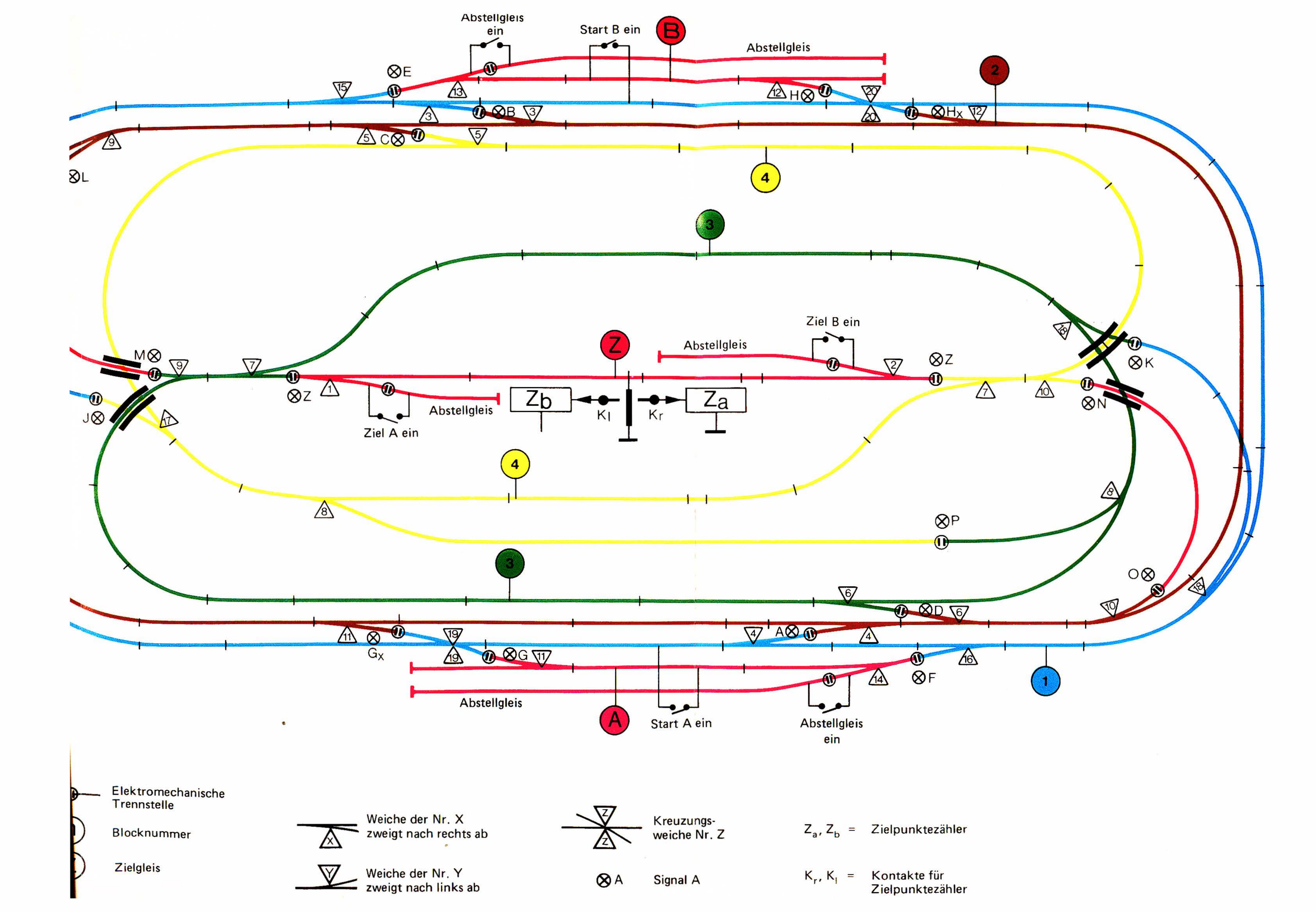
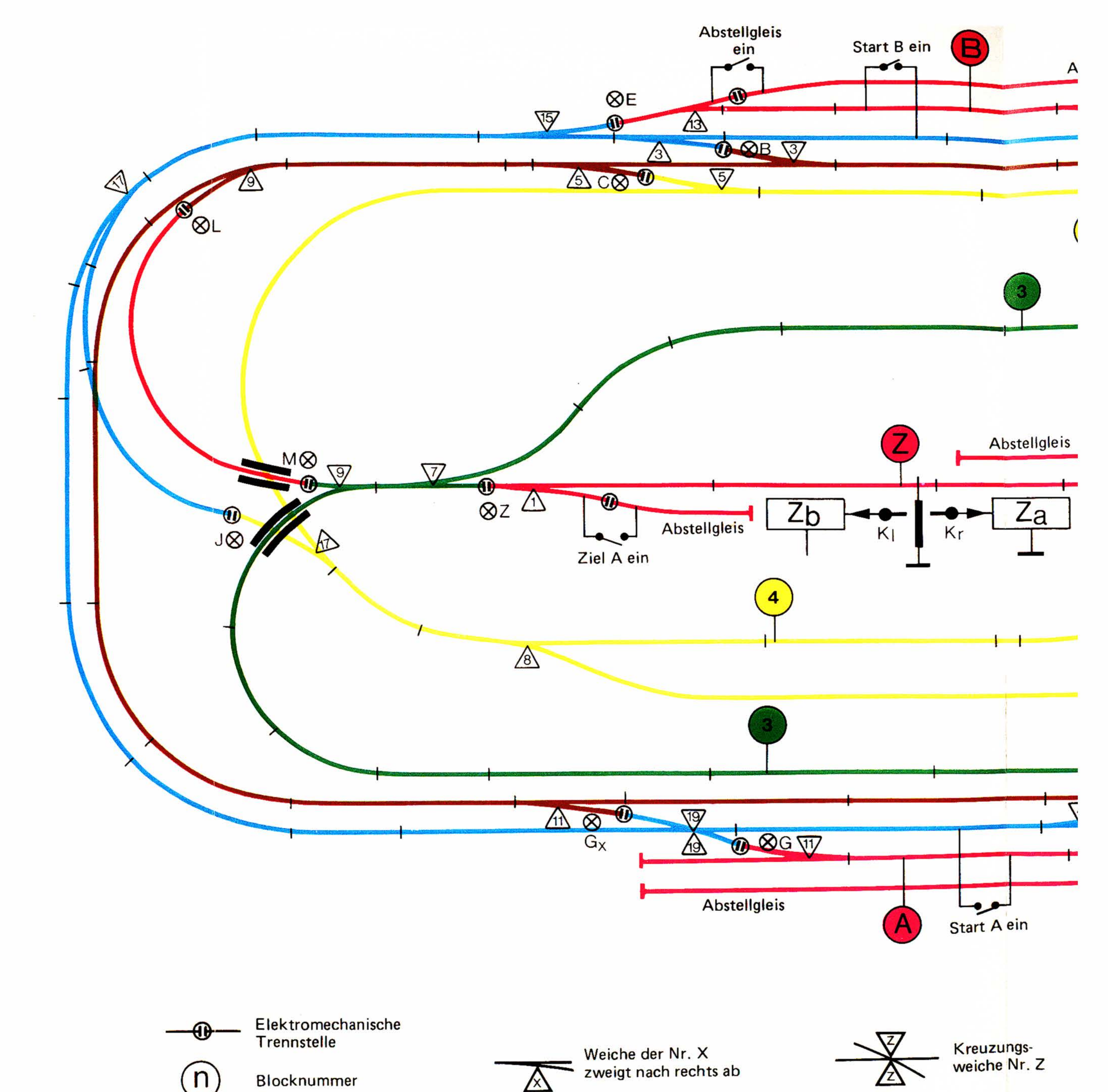
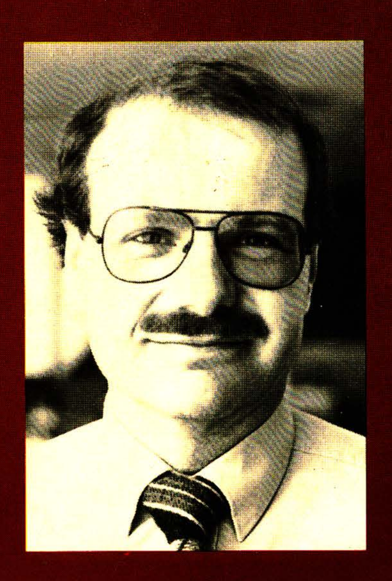

Abstellgleis ein
Start B ein
B
Abstellgleis
2
E
15
13
3
B
3
12
H
20
20
Hx
12
9
5
C
5
L
4
3
Ziel B ein
Abstellgleis
Z
M
9
7
Z
1
Ziel A ein
Abstellgleis
Zb
Kl
Kr
Za
2
Z
7
10
K
N
J
17
4
8
8
P
3
O
18
6
D
6
10
11
Gx
19
19
G
11
4
A
4
16
14
F
1
Abstellgleis
A
Start A ein
Abstellgleis ein
Elektromechanische Trennstelle
Blocknummer
Zielgleis
Weiche der Nr. X zweigt nach rechts ab
Weiche der Nr. Y zweigt nach links ab
Kreuzungsweiche Nr. Z
A
Signal A
Za, Zb = Zielpunktezähler
Kr, Kl = Kontakte für Zielpunktezähler

Bild 3.5 zeigt eine maßstabgerechte Abbildung der Prototyp-Anlage mit der Fähigkeit zu einem wettkampffähigen Modelleisenbahn-Spiel. Man erkennt die beiden Startbahnhöfe A, B und den Zielbahnhof Z, ferner die 4 Fahrlevel 1 bis 4 (Kreise mit den Nummern darin), außerdem die mit LEDs bestückten Signale A bis P (neben den kleinen Kreisen mit dem Kreuz) und die Weichenpaare, die mit der Weichen-Nr. im auf die Spitze gestellten Dreieck an der Stelle gekennzeichnet sind, wo sie abzweigen. Die durch doppelte Signale an den Enden gekennzeichneten Schienenbögen (Signale L, M und N, O) sind als Wendeschleifen zu beschalten; ebenso muß das Zielgleis Z als Wendeschleife beschaltet werden, obwohl es ein gerades Stück ist. Das liegt daran, daß man die Fahrtrichtung zwischen Level 3 und Level 4 umkehrt, wenn man über das Zielgleis Z fährt. Beim Fahren über das Zielgleis Z sammelt der Spieler durch Betätigen des Kontaktes K_l, K_r seine Zielpunkte, wobei jedem Spieler eine bestimmte Durchfahrtrichtung zugeordnet ist. Der Kontakt kann durch den durchfahrenen Zug mehrmals betätigt werden, so daß man mit Zügen unterschiedlicher Länge auch unterschiedliche Punkte sammeln kann.





Dipl.-Ing. W.D. Schleifer, begeisterter Modelleisenbahn-Fan, studierte in Karlsruhe und München Allgemeine Elektronik, Nachrichten- und Hochfrequenztechnik. Seit 15 Jahren in der Elektronik-Industrie tätig ist der Autor heute in einem führenden Unternehmen in leitender Stellung beschäftigt.

ISBN 3-7905-0339-8

Die hier vom Verfasser beschriebenen Elektronik-Baugruppen sind ein universelles Baustein-System, das nicht auf einen bestimmten Hersteller fixiert ist. Dabei wird schrittweise vorgegangen, und zunächst werden einfache Probleme wie Signalsteuerung und Weichenstellung gelöst. Nach und nach wird der Leser an die vollständige Programmierbarkeit seiner Anlage herangeführt, und es werden neue Möglichkeiten zur Steigerung des Spielanreizes der fertigen Modelleisenbahnanlage vorgestellt.

Der besondere Beitrag dieses Buches für den Hobby-Elektroniker ist der spielerische Einstieg in die Computertechnik, die bisher speziell für Modelleisenbahn-Freunde nur sehr oberflächlich behandelt wurde.